



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL ACEITE ESENCIAL DE
CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum*, L. Matton) OBTENIDO A NIVEL PLANTA PILOTO,
UTILIZANDO EL MÉTODO CONVENCIONAL DE SECADO Y UTILIZANDO UN SECADOR
ELÉCTRICO DE FLUJO TRANSVERSAL DE BANDEJAS**

Brenda Amarylys Cermeño Dávila

Asesorado por la Inga. Telma Maricela Cano Morales e
Ing. Mario José Mérida Meré

Guatemala, noviembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL ACEITE ESENCIAL DE
CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum*, L. Matton) OBTENIDO A NIVEL PLANTA PILOTO,
UTILIZANDO EL MÉTODO CONVENCIONAL DE SECADO Y UTILIZANDO UN SECADOR
ELÉCTRICO DE FLUJO TRANSVERSAL DE BANDEJAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

BRENDA AMARYLYS CERMEÑO DÁVILA

ASESORADO POR LA INGA. TELMA MARICELA CANO MORALES E ING.
MARIO JOSÉ MÉRIDA MERÉ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

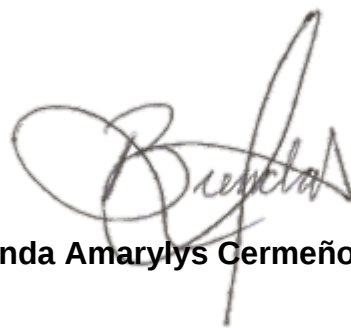
DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Inga. Dinna Lisette Estrada Moreira de Rossal
EXAMINADOR	Ing. Gerardo Ordoñez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada de Asturias
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL ACEITE ESENCIAL DE
CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum*, L. Matton) OBTENIDO A NIVEL PLANTA PILOTO,
UTILIZANDO EL MÉTODO CONVENCIONAL DE SECADO Y UTILIZANDO UN SECADOR
ELÉCTRICO DE FLUJO TRANSVERSAL DE BANDEJAS**

Tema que fue asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 22 de noviembre de 2013

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Brenda', with a large, stylized flourish extending upwards and to the right.

Brenda Amarylys Cermeño Dávila



Guatemala, 21 de octubre de 2021

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

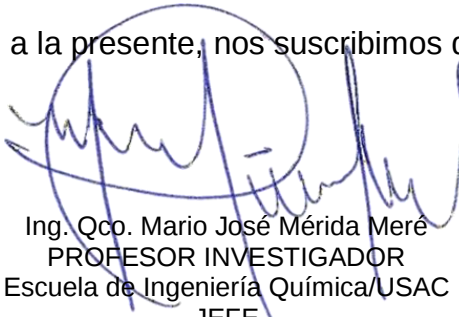
Estimado Ingeniero Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hacemos constar que hemos revisado y aprobado el Informe Final titulado: **“EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL ACEITE ESENCIAL DE CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum*, L. Matton) OBTENIDO A NIVEL PLANTA PILOTO, UTILIZANDO EL MÉTODO CONVENCIONAL DE SECADO Y UTILIZANDO UN SECADOR ELÉCTRICO DE FLUJO TRANSVERSAL DE BANDEJAS”** elaborado por la estudiante de la carrera de Ingeniería Química, **Brenda Amarylys Cermeño Dávila**, quien se identifica con el registro académico **200610930** y con el CUI **2348421720101**.

Agradeciendo la atención a la presente, nos suscribimos de usted.

Atentamente,
INGENIERO QUÍMICO

Mario José Mérida Meré
Colegiado No. 1411


Ing. Qco. Mario José Mérida Meré
PROFESOR INVESTIGADOR
Escuela de Ingeniería Química/USAC
JEFE

Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales –LIEXVE-
Sección Química Industrial CII / USAC
Asesor




Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales
PROFESORA INVESTIGADORA
DIRECTORA
Centro de Investigaciones de Ingeniería/USAC
Asesora

INGENIERA QUÍMICA

Telma Maricela Cano Morales
Colegiado No. 433





Guatemala, 25 de octubre de 2021.
Ref. EIQ.TG-IF.031.2021.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **181-2013**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Brenda Amarylys Cermeño Dávila**.

Identificado con número de carné: **2348421720101**.

Identificado con registro académico: **200610930**.

Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.

En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL ACEITE ESENCIAL DE
CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum*, L. Matton) OBTENIDO A NIVEL PLANTA
PILOTO, UTILIZANDO EL MÉTODO CONVENCIONAL DE SECADO Y UTILIZANDO UN
SECADOR ELÉCTRICO DE FLUJO TRANSVERSAL DE BANDEJAS**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Telma Maricela Cano Morales, profesional de la Ingeniería Química
Mario José Mérida Meré, profesional de la Ingeniería Química

Habiendo encontrado el referido trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"

Gerardo Ordoñez
profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



M.Sc. Ing. Gerardo Ordoñez
Ingeniero Químico
Colegiado No. 1296
Maestría Seguridad Industrial

C.c.: archivo





Guatemala, 24 de noviembre de 2021

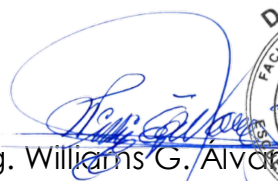
Ref. EIQ.273.2021

Aprobación del informe final del trabajo de graduación

Ingeniera
Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN (TESIS), DENOMINADO **EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL ACEITE ESENCIAL DE CARDAMOMO (*Elettaria cardamomum*, L. Matton)** OBTENIDO A NIVEL PLANTA PILOTO, UTILIZANDO EL MÉTODO CONVENCIONAL DE SECADO Y UTILIZANDO UN SECADOR ELÉCTRICO DE FLUJO TRANSVERSAL DE BANDEJAS del(la) estudiante Brenda Amarylys Cermeño Dávila, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Química.

“Id y Enseñad a Todos”




Ing. Williams G. Álvarez Mejía, M.I.Q., M.U.I.E.

DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Química

Cc. Archivo
WGAM/wgam



Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Ingeniería y de Ingeniería



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939



**NO SALGAS
QUÉDATE EN
CASA**



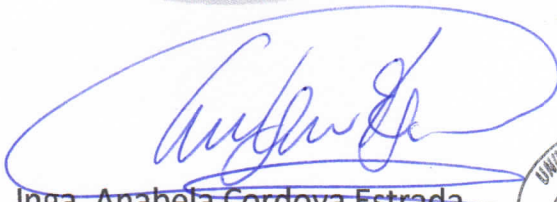
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189102 - 24189103
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG.715.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL ACEITE ESENCIAL DE CARDAMOMO (Elettaria cardamomum, L. Matton) OBTENIDO A NIVEL PLANTA PILOTO, UTILIZANDO EL MÉTODO CONVENCIONAL DE SECADO Y UTILIZANDO UN SECADOR ELÉCTRICO DE FLUJO TRANSVERSAL DE BANDEJAS**, presentado por la estudiante universitaria: **Brenda Amarylys Cermeño Dávila**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, noviembre de 2021

ACE/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por todas las bendiciones recibidas y proporcionarme la fuerza necesaria para no dejarme caer.
Virgen María	Por cubrirme con su manto protector y ser la guía de mi camino.
Mis padres	Celerino Cermeño y Maira Dávila de Cermeño, por apoyarme durante mi carrera, por su motivación y su amor incondicional. Los amo.
Mis hermanas	Diana y Telma Cermeño, por creer en mí y ser la motivación para cumplir mis sueños.
Mis abuelos	Sofía Estrada de Dávila, Vicente Dávila, Vicente Cermeño (q. e. p. d.) y Rosaura Ramírez (q. e. p. d.), por brindarme sus consejos, su amor incondicional y su apoyo.
Mi esposo	Luis Castillo, por su apoyo incondicional y por motivarme siempre a seguir adelante.
Mis tíos	Por su apoyo y motivación, en especial a Ericka Dávila.

Mis padrinos

María Cermeño de Rodríguez, Ricardo Rodríguez, Lilian Dávila de Batres y Sergio Batres, por apoyarme y motivarme durante mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de formarme como profesional durante este tiempo y apoyar al desarrollo de la población.
Facultad de Ingeniería	Por ser una importante influencia en mi carrera y por permitirme formarme como profesional.
Escuela de Ingeniería Química	Por mi formación como profesional.
Laboratorio de Extractos Vegetales	Por permitirme realizar la experimentación de este trabajo.
Mis asesores	Ingeniera Telma Cano e Ingeniero Mario Mérida, por su apoyo, dedicación y esfuerzo para llevar a cabo la culminación de este estudio.
Mi revisor	Ingeniero Gerardo Ordoñez, por compartir sus conocimientos y su apoyo incondicional.
CARDEGUA (Asociación de Cardamomeros de Guatemala)	Por el apoyo en la obtención de materia prima para la elaboración de este estudio.

Patricio Quinteros

Por su apoyo en la obtención de materia prima a través de CARDEGUA, por el aporte de su conocimiento en este estudio.

Mi padre

Celerino Cermeño, por su amor incondicional, por motivarme a ser mejor cada día, por ser ese motor impulsor y no dejarme vencer ante las adversidades.

Mi madre

Maira Dávila de Cermeño, por creer siempre en mí, por los consejos y ser uno de los pilares de mi vida.

Mi hermana

Diana Cermeño, por ser una fuente de inspiración a ser una mejor persona y ser mi motivación para salir adelante.

Mi hermana

Telma Cermeño, por ser luz en mi vida y motivarme a ser mejor cada día y por ayudarme a seguir adelante.

Mis abuelos

Sofía Estrada de Dávila (q. e. p. d.), Vicente Dávila, Vicente Cermeño (q. e. p. d.) y Rosaura Ramírez (q. e. p. d.), por creer en mí y motivarme a seguir adelante.

Mi esposo

Luis Castillo, por su apoyo incondicional y por motivarme siempre a seguir adelante.

Mis tíos

Por su apoyo y motivación, en especial a Ericka Dávila.

Mis padrinos

María Cermeño de Rodríguez, Ricardo Rodríguez, Lilian Dávila de Batres y Sergio Batres, por apoyarme y motivarme durante mi carrera.

Mis primos

Por todas las aventuras vividas y por apoyarme a cumplir mi sueño, en especial a Vanesa Batres.

Mis amigos

Marilyn Calderón, Ricardo Fernández, María del Carmen Figueroa, Alison Ixcot, Galia Méndez, Karen Orozco, Agnes Ana Beatriz Márquez, Heidi Huertas, Delly Guevara, Manuel Márquez, Luis Fernando García, Diego Salazar, Omar Ponce, Alejandro Girón y Mario Castillo, por todos los momentos compartidos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO.....	XVII
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
HIPÓTESIS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Cardamomo	7
2.1.1. Condiciones apropiadas para el cultivo	9
2.1.1.1. Clima y suelos	9
2.1.1.2. Propagación.....	9
2.1.1.3. Siembra	10
2.1.2. Manejo de la plantación	11
2.1.2.1. Fertilización.....	11
2.1.2.2. Combate de malezas.....	11
2.1.2.3. Poda y limpia de la cepa.....	12
2.1.3. Plagas del cardamomo	12
2.1.3.1. Insectos dañinos y su combate.....	12
2.1.3.2. Ácaros y su combate	14
2.1.3.3. Vertebrados y su combate	14
2.1.3.4. Enfermedades y su combate	15

2.1.4.	Producción y cosecha	15
2.1.4.1.	Factores influyentes en producción Guatemala.....	17
2.1.5.	Usos	17
2.1.5.1.	Usos medicinales	17
2.1.5.2.	Otros usos.....	18
2.1.6.	Composición química	18
2.1.7.	Farmacognosia.....	18
2.1.8.	Farmacología	19
2.1.9.	Beneficiado del cardamomo	20
2.1.10.	Proceso del beneficiado	20
2.2.	Secado	21
2.2.1.	Cantidad de humedad de los sólidos	21
2.2.2.	Contenido de humedad. (<i>Moist Content</i>) M.C., para expresar de un sólido en base al peso de la muestra seca.....	22
2.3.	Secadores	22
2.3.1.	Secadores para sólidos y pastas.....	23
2.3.2.	Secadores para diluciones y suspensiones.....	27
2.3.3.	Métodos especializados de secado.....	30
2.4.	El secado en la industria de cardamomo	31
2.5.	Aceites esenciales.....	32
2.5.1.	Clasificación de los aceites esenciales	34
2.5.1.1.	Consistencia.....	34
2.5.1.2.	Origen.....	36
2.5.1.3.	Naturaleza química	36
2.6.	Caracterización fisicoquímica.....	37
2.6.1.	Índice de refracción	38
2.6.2.	Densidad	38

2.6.3.	Solubilidad	38
2.6.4.	Cromatografía de gases acoplado a espectrofotometría de masas	39
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	41
3.1.	Localización.....	41
3.2.	Variables.....	41
3.2.1.	Variables de operación	43
3.2.1.1.	Área de secado	43
3.2.1.2.	Área de extracción de aceite esencial de cardamomo	44
3.2.2.	Variables de proceso	45
3.2.2.1.	Área de secado	45
3.2.2.2.	Área de extracción del aceite esencial de cardamomo.....	45
3.3.	Delimitación del campo de estudio	46
3.3.1.	Lugar de obtención de la materia prima	46
3.4.	Recursos humanos disponibles.....	46
3.5.	Recursos materiales disponibles	46
3.5.1.	Equipo para secar.....	46
3.5.2.	Equipo para extraer el aceite esencial.....	47
3.5.3.	Equipo para realizar caracterización fisicoquímica	49
3.5.4.	Reactivos y materia prima	50
3.6.	Técnica cuantitativa y cualitativa	51
3.7.	Procedimiento.....	52
3.7.1.	Preparación de la materia prima.....	52
3.7.2.	Secado de cardamomo.....	52
3.7.3.	Rendimiento del secado	53

3.7.4.	Porcentaje de humedad	53
3.7.5.	Clasificación del cardamomo seco	53
3.7.6.	Extracción de aceite esencial a escala planta piloto.....	54
3.7.7.	Análisis fisicoquímico	59
3.7.7.1.	Densidad	60
3.7.7.2.	Índice de refracción	61
3.7.8.	Cromatografía de gases acoplado a espectrofotometría de masas	61
3.8.	Recolección y ordenamiento de la información	62
3.9.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	75
3.10.	Análisis estadístico	88
3.10.1.	Factores	88
3.10.2.	Diseño de tratamientos.....	89
3.10.3.	Análisis de varianza (ANOVA).....	89
3.10.3.1.	Análisis de varianza para el rendimiento del aceite esencial de cardamomo	92
3.10.3.2.	Análisis de varianza para la densidad del aceite esencial de cardamomo	92
3.10.3.3.	Análisis de varianza para el índice de refracción del aceite esencial de cardamomo	96
4.	RESULTADOS.....	101
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	111

CONCLUSIONES	117
RECOMENDACIONES.....	119
BIBLIOGRAFÍA.....	121
APÉNDICES	125

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Flores de cardamomo	7
2.	Hojas de cardamomo	8
3.	Secador de bandejas de flujo transversal	47
4.	Equipo de extracción (planta piloto)	48
5.	Erlenmeyer	48
6.	Refractómetro	49
7.	Balanza analítica	50
8.	Distribución de cardamomo en las bandejas del secador	53
9.	Cardamomo de primera calidad	54
10.	Sostenedor de platos y plato perforado	55
11.	Plato perforado con materia prima	56
12.	Vaso Florentino	56
13.	Caldera a 100 PSI	57
14.	Primera gota de condensado	58
15.	Ampolla de decantación	58
16.	Ampolla de decantación después del drenado	59
17.	Peso del picnómetro conteniendo el aceite esencial	60
18.	Recolección y ordenamiento de datos para el secado	63
19.	Recolección y ordenamiento de datos para la extracción de aceite esencial	64
20.	Comparación de volúmenes recuperados utilizando el secador de bandejas de flujo transversal y el secador de industrial de leña	76

21.	Comparación de los rendimientos de aceite esencial de cardamomo, utilizando el secador de bandejas de flujo transversal y el secador de industrial de leña.....	77
22.	Gráfico de cajas del rendimiento del aceite esencial de cardamomo en función del tipo de secado	93
23.	Gráfico del comportamiento del porcentaje de humedad del cardamomo cereza en función del tiempo	102
24.	Gráfico lineal de medias comparativas del rendimiento del aceite esencial de cardamomo en función del tipo de secado	104
25.	Gráfico lineal de medias comparativas de la densidad del aceite esencial de cardamomo en función del tipo de secado	105
26.	Gráfico lineal de medias comparativas del índice de refracción del aceite esencial de cardamomo en función del tipo de secado	107
27.	Gráfico de áreas comparativas del contenido del acetato de α -terpinilo y del 1,8-cineol (<i>Eucalyptol</i>), en el aceite esencial de cardamomo, utilizando para el secado del cardamomo cereza, el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal	108
28.	Gráfico de áreas comparativas del contenido del acetato de α -terpinilo y del 1,8-cineol (<i>Eucalyptol</i>), en el aceite esencial de cardamomo, utilizando el secador de leña para el secado del cardamomo cereza	109

TABLAS

I.	Análisis de variables	42
II.	Variables cualitativas y cuantitativas.....	51
III.	Resultados del secado de cardamomo utilizando un secador eléctrico de bandejas de flujo transversal. Corrida 1	65

IV.	Resultados del secado de cardamomo utilizando un secador eléctrico de bandejas de flujo transversal. Corrida 2.....	65
V.	Resultados del secado de cardamomo utilizando un secador eléctrico de bandejas de flujo transversal. Corrida 3.....	66
VI.	Resultados del secado de cardamomo utilizando un secador eléctrico de bandejas de flujo transversal. Corrida 4.....	66
VII.	Humedad presente en el cardamomo en función del tiempo. Corrida 1	67
VIII.	Humedad presente en el cardamomo en función del tiempo. Corrida 2	67
IX.	Humedad presente en el cardamomo en función del tiempo. Corrida 3	68
X.	Humedad presente en el cardamomo en función del tiempo. Corrida 4	68
XI.	Volumen de aceite esencial extraído por arrastre de vapor a escala planta piloto (secado con el secador de bandejas)	69
XII.	Volumen de aceite esencial extraído por arrastre de vapor a escala planta piloto (secado con el secador de leña utilizado en la industria)	69
XIII.	Rendimiento del aceite esencial de cardamomo (secador de bandejas eléctrico de flujo transversal)	69
XIV.	Rendimiento del aceite esencial de cardamomo (secador de la industria)	70
XV.	Densidad del aceite esencial de cardamomo extraído (secado con secador bandejas de flujo transversal).....	70
XVI.	Densidad del aceite esencial de cardamomo extraído (secado con secador de leña de la industria)	71
XVII.	Índice de refracción del aceite esencial de cardamomo extraído (secado con secador eléctrico de bandejas de flujo transversal)	71

XVIII.	Índice de refracción del aceite esencial de cardamomo extraído (secado con secador de leña utilizado en la industria)	72
XIX.	Corrida 1: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 1,61 % (secado con secador eléctrico de bandejas de flujo transversal)	72
XX.	Corrida 2: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 2,46 % (secado con secador eléctrico de bandejas de flujo transversal)	73
XXI.	Corrida 3: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 1,80 % (secado con secador eléctrico de bandejas de flujo transversal)	73
XXII.	Corrida 1: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 0,36 % (secado con secador de leña industria)	74
XXIII.	Corrida 2: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 1,16 % (secado con secador de leña industria)	74
XXIV.	Corrida 3: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 0,75 % (secado con secador de leña industria)	75
XXV.	Rendimiento del secado de cardamomo.....	75
XXVI.	Humedad presente en el cardamomo en función del tiempo	76
XXVII.	Promedio de la densidad del aceite esencial de cardamomo extraído (secado con el secador bandejas de flujo transversal)	77
XXVIII.	Densidad del aceite esencial de cardamomo extraído (secado con secador de leña de la industria)	78
XXIX.	Promedio del índice de refracción del aceite esencial de cardamomo extraído (secado con secador eléctrico de bandejas de flujo transversal)	78

XXX.	Promedio del índice de refracción del aceite esencial de cardamomo extraído (secado con secador de leña utilizado en la industria).....	79
XXXI.	Corrida 1: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 1,61 % (secado con secador eléctrico de bandejas de flujo transversal)	79
XXXII.	Corrida 2: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 2,46 % (secado con secador eléctrico de bandejas de flujo transversal)	81
XXXIII.	Corrida 3: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 1,80 % (secado con secador eléctrico de bandejas de flujo transversal)	82
XXXIV.	Corrida 1: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 0,36 % (secado con secador de leña industria)	84
XXXV.	Corrida 2: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 1,16 % (secado con secador de leña industrial).....	85
XXXVI.	Corrida 3: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 0,75 % (secado con secador de leña industria)	87
XXXVII.	Varianza de un experimento de dos factores	90
XXXVIII.	Resumen de los métodos y modelos a utilizar según el tipo de variable.....	91
XXXIX.	Experimento de factores para el rendimiento del aceite esencial según el tipo de secado	92
XL.	Análisis de varianza del rendimiento del aceite esencial, según el tipo de secado.....	93
XLI.	Experimento de dos factores para la densidad del aceite esencial de cardamomo en función del rendimiento (secador de bandejas).....	94

XLII.	Análisis de la varianza para la densidad del aceite esencial de cardamomo en función del rendimiento (secador de bandejas)	94
XLIII.	Experimento de dos factores para la densidad del aceite esencial de cardamomo en función del rendimiento (secador de leña)	95
XLIV.	Análisis de la varianza para la densidad del aceite esencial de cardamomo en función del rendimiento (secador de leña)	95
XLV.	Experimento de dos factores para la densidad del aceite esencial de cardamomo en función del tipo de secado	96
XLVI.	Análisis de la varianza con varias muestras por grupo para la densidad del aceite esencial de cardamomo en función del tipo de secado	96
XLVII.	Experimento de dos factores para el índice de refracción del aceite esencial de cardamomo en función del rendimiento (secador de bandejas)	97
XLVIII.	Análisis de la varianza de dos factores con una muestra por grupo para el índice de refracción del aceite esencial de cardamomo en función del rendimiento (secador de bandejas)	97
XLIX.	Experimento de dos factores para el índice de refracción del aceite esencial de cardamomo en función del rendimiento para el secador de leña	98
L.	Análisis de la varianza de dos factores con una muestra por grupo para el índice de refracción del aceite esencial de cardamomo en función del rendimiento (secador de leña)	98
LI.	Experimento de dos factores con varias muestras por grupo para el índice de refracción del aceite esencial de cardamomo en función del tipo de secado	99
LII.	Análisis de la varianza de dos factores con una muestra por grupo para el índice de refracción del aceite esencial de cardamomo en función del rendimiento (secador de leña)	99

LIII.	Comportamiento del porcentaje de humedad del cardamomo en función del tiempo, para 4 quintales de cardamomo cereza	101
LIV.	Modelos matemáticos y coeficientes de correlación del porcentaje de humedad del cardamomo cereza en función del tiempo.	102
LV.	Rendimiento del aceite esencial de cardamomo de primera calidad, utilizando el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal, para el secado del cardamomo cereza	103
LVI.	Rendimiento del aceite esencial de cardamomo de primera calidad, utilizando el secador industrial de leña, para el secado del cardamomo cereza.....	103
LVII.	Densidad del aceite esencial de cardamomo pergamino de primera calidad, utilizando para su secado, el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal	104
LVIII.	Densidad del aceite esencial de cardamomo pergamino de primera calidad, utilizando para su secado, el secador industrial de leña.....	105
LIX.	Índice de refracción del aceite esencial de cardamomo pergamino de primera calidad, utilizando para su secado, el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal.....	105
LX.	Índice de refracción del aceite esencial de cardamomo pergamino de primera calidad, utilizando para su secado, el secador industrial de leña	106
LXI.	Contenido del acetato de α -terpinilo y del 1,8-cineol (<i>Eucalyptol</i>), en el aceite esencial de cardamomo, utilizando para el secado del cardamomo cereza, el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal.....	108
LXII.	Contenido del acetato de α -terpinilo y del 1,8-cineol (<i>Eucalyptol</i>), en el aceite esencial de cardamomo, utilizando el secador de leña para el secado del cardamomo cereza	109

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
g	Gramos
H	Horas
H	Humedad relativa
kg	Kilogramos
mL	Mililitros
RT	Minuto de retención de muestra
min	Minutos
Pk#	Número de muestra
%	Porcentaje
SB	Secador de bandejas
SL	Secador de leña
T	Tiempo

GLOSARIO

Aceite esencial	Un aceite esencial o aceite etéreo es una mezcla de varias sustancias químicas biosintetizadas por las plantas, que dan el aroma característico de algunas flores, árboles, frutos, hierbas, especias, semillas y a ciertos extractos de origen animal.
Acetato de α-terpentilo	Compuesto orgánico presente en un porcentaje elevado en el aceite esencial de cardamomo.
Cardamomo pergamino	Consiste en el estado seco del fruto maduro (cardamomo cereza), conservando su coloración.
Cromatografía	Método de análisis que permite la separación de gases o líquidos de una mezcla por adsorción selectiva, produciendo manchas diferentemente coloreadas en el medio adsorbente; está basado en la diferente velocidad con la que se mueve cada fluido a través de una sustancia porosa.
Cromatograma	Es el resultado gráfico de la cromatografía. En el caso de separación óptima, los diferentes picos del cromatograma corresponden a los componentes de la mezcla separada.

Densidad	Magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia.
Extracto	Sustancia muy concentrada que se obtiene de una planta, semilla u otra cosa por diversos procedimientos.
1,8 Cineol	Eucaliptol, compuesto orgánico encontrado en un porcentaje elevado en el aceite esencial de cardamomo.

RESUMEN

En este trabajo de investigación se evaluó y comparó el rendimiento del aceite esencial de cardamomo en función del tipo de secado.

Se comparó la forma de secar en la industria, la cual, se realizó por medio de un secador de leña, con el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal.

Se realizaron cuatro repeticiones para el secador eléctrico de bandejas, no se varió el flujo másico de aire y se determinó la eficiencia del secado en función del cardamomo pergamino de primera calidad obtenido, este resultado se comparó con el resultado de cardamomo pergamino de primera calidad obtenido del secador de leña. Para esta fase del experimento se determinó que el secador de leña tuvo una relación de 4,25:1 y el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal tuvo una relación de 4,003:1 de cardamomo pergamino, es decir que por cada 4.25 quintales de cardamomo cereza se obtuvo 1 quintal de cardamomo pergamino de primera calidad, utilizando el secador de leña y por cada 4,003 quintales de cardamomo cereza se obtuvo 1 quintal de cardamomo pergamino de primera calidad, utilizando el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal.

La eficiencia del secador eléctrico de bandejas de flujo transversal se evaluó en función del porcentaje del rendimiento del aceite esencial de cardamomo pergamino de primera calidad obtenido, este resultado, se comparó con el porcentaje de aceite esencial de cardamomo de primera calidad de cardamomo secado en el secador de leña. Del procedimiento anterior se obtuvo un promedio

de rendimiento de 7 % para el secador de bandejas de flujo transversal y de 3 % para el secador de leña

Se le realizó su respectiva caracterización fisicoquímica, color, olor, densidad, índice de refracción y un análisis de cromatografía de gases /masas (GC-MS); comprobando que el contenido de 1,8 cineol (*eucaliptol*), es superior utilizando el secador de bandejas de flujo transversal.

Se determinó la existencia de una diferencia significativa dentro de los resultados, utilizando un análisis estadístico de varianza (ANOVA por sus siglas en inglés), y posteriormente se aplicó la prueba de Fisher, comprobando así, la existencia de diferencias significativas en los resultados.

OBJETIVOS

General

Evaluar y comparar el rendimiento del aceite esencial de cardamomo utilizando dos métodos de secado. El método utilizado actualmente en la industria de cardamomo y utilizando un secador eléctrico de flujo transversal de bandejas.

Específicos

1. Evaluar el tiempo de secado del cardamomo en el secador eléctrico de flujo transversal de bandejas con el secador de leña utilizado en la industria de cardamomo actual.
2. Determinar el porcentaje de humedad del cardamomo necesario para obtener un mejor rendimiento del aceite esencial.
3. Determinar el tiempo idóneo de secado del cardamomo en el secador eléctrico de flujo transversal de bandejas.
4. Evaluar el rendimiento del aceite esencial de cardamomo en función del tipo de secado; utilizando para su extracción, el método de arrastre de vapor a nivel planta piloto.

5. Realizar una caracterización fisicoquímica del aceite esencial de cardamomo obtenido en los dos métodos por medio de cromatografía de gases.

Hipótesis

Hipótesis de trabajo

Es posible realizar un estudio comparativo del rendimiento del aceite esencial de cardamomo pergamino de primera calidad utilizando para su secado, un secador de bandejas de flujo transversal y el método tradicional utilizado en la industria.

Hipótesis estadística

Hipótesis nula

Ho₁: No existe diferencia significativa en el rendimiento del aceite esencial de cardamomo pergamino de primera calidad obtenido de dos diferentes métodos de secado.

Ho₂: No existe diferencia significativa en la densidad del aceite esencial de cardamomo pergamino de primera calidad obtenido en los diferentes métodos de secado.

Ho₃: No existe diferencia significativa en el índice de refracción del aceite esencial de cardamomo pergamino de primera calidad obtenido en los diferentes métodos de secado.

Ho₄: No existe diferencia significativa en el contenido del aceite esencial de cardamomo pergamino de primera calidad obtenido en los diferentes métodos de secado.

Hipótesis alternativa

Ha1: Existe diferencia significativa en el rendimiento del aceite esencial de cardamomo pergamino de primera calidad obtenido de dos diferentes métodos de secado.

Ha2: Existe diferencia significativa en la densidad del aceite esencial de cardamomo pergamino de primera calidad obtenido en los diferentes métodos de secado.

Ha3: Existe diferencia significativa en el índice de refracción del aceite esencial de cardamomo pergamino de primera calidad obtenido en los diferentes métodos de secado.

Ha4: Existe diferencia significativa en el contenido del aceite esencial de cardamomo pergamino de primera calidad obtenido en los diferentes métodos de secado.

INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país rico en agricultura, debido a la diversidad de climas y tierras. Guatemala ha logrado posicionarse como uno de los principales países en exportación de materia prima para diferentes usos comerciales, desde medicamentos hasta perfumería.

Siendo uno de sus principales productos el cardamomo, y actualmente Guatemala es responsable del 80 % de las exportaciones mundiales de cardamomo, posicionándolo como el principal exportador de cardamomo.

Actualmente en Guatemala existen 6 empresas que se dedican a la comercialización de cardamomo ya sea de primera, segunda, tercera, así como amarillos, abiertos y oro. También se comercializan los diferentes productos que se obtienen del cardamomo, tales como aceites esenciales, fragancias, decorativos, entre otros.

Actualmente en la Industria del cardamomo no hay investigaciones que ayuden a definir y mejorar los procesos del beneficiado del mismo, especialmente en el área de secado, siendo esta la parte más importante del proceso, porque el secado, ayuda a la conservación de cardamomo por períodos prolongados.

Hoy por hoy la forma de secado se realiza en secadores industriales de leña y no se tiene un control de la temperatura de secado haciendo que se alcancen temperaturas muy altas arruinando parte del producto y deforestando gran parte de los bosques.

Es por ello, que este estudio tuvo como finalidad la evaluación y comparación de los dos métodos de secado, el método utilizado por la industria y un método con condiciones controladas, utilizando para ello un secador eléctrico de bandejas de flujo transversal.

Para determinar la influencia del método de secado, se evaluó el rendimiento del aceite esencial del cardamomo pergamino y se compararon los resultados entre ambos tipos de secado para verificar la existencia de diferencias significativas.

1. ANTECEDENTES

El cardamomo es un fruto seco proveniente de una planta perenne, que pertenece a la familia zingiberaceae originaria de la India de la cual se tienen las primeras referencias escritas en el año 1550 A.C.

El cardamomo fue introducido a Guatemala en 1914 por el alemán Oscar Majus Kloeffer. Anteriormente, después de cosechar el cardamomo se dejaba fermentar en tanques, por dos o tres días; seguidamente era pisoteado por los mozos para separar la cascara de la semilla, se lavaba la semilla y por último se secaba al sol.

En la industria cardamomera actual, el proceso de beneficiado del cardamomo ha variado a gran escala, principalmente, en el área de secado. Hoy en día la forma de secar se divide en varios tipos siendo estos: secado a sol abierto, secado solar, secado con secador de madera, secado eléctrico/gas y secado con control de humedad, siendo el más común el secado en secadores de madera. Hoy por hoy no existe una evaluación específica acerca del proceso secado de cardamomo haciendo que dicho proceso sea descontrolado y tardío.

Anteriormente se han realizado diferentes estudios de cardamomo; sin embargo, no se ha realizado una investigación a fondo del rendimiento del aceite esencial de cardamomo utilizando los métodos convencionales de secado y utilizando un secador eléctrico de bandejas de flujo transversal.

Como ejemplo de las investigaciones de cardamomo realizadas anteriormente se tiene la investigación realizada en el año 2014 por la Ingeniera

química Michelle Espina Quiñonez, quien presentó su estudio de investigación titulado Evaluación del rendimiento extractivo y caracterización fisicoquímica del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), de primera, segunda y tercera calidad mediante el método de hidroestilación a escala laboratorio. El objetivo del presente estudio de investigación se basó en la evaluación del rendimiento extractivo, rendimiento volumétrico, contenido de 1,8-cineol (*eucaliptol*), densidad e índice de refracción del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), de primera, segunda y tercera calidad mediante el método de hidrodestilación a escala laboratorio.

Se trabajó a 3 diferentes tiempos extractivos (120, 180 y 240 minutos), por el método de hidroestilación a escala laboratorio, se observó que la calidad de cardamomo con mayor rendimiento extractivo másico es la primera, seguido de la segunda y por último la tercera calidad siendo estos $4,431 \% \pm 0,1334$, $3,894 \% \pm 0,0350$ y $3,438 \% \pm 0,2353$ respectivamente para el tiempo de extracción de 240 minutos. Y para los rendimientos extractivos volumétricos del aceite esencial de cardamomo de primera, segunda y tercera calidad fueron $2,4159 \text{ mL} \pm 0,0720$, $2,1129 \text{ mL} \pm 0,0184$, $1,8691 \text{ mL} \pm 0,1277$ respectivamente para el tiempo de extracción de 240 minutos.

Se determinó que existe diferencia en la caracterización fisicoquímica para las tres calidades de aceite de cardamomo.

En el año 2009 el Ingeniero Químico Adrián Antonio Soberanis Ibáñez presenta su trabajo de graduación con el título de Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo (*Elettaria cardamomum*, L. Matton), obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas, cuyo objetivo principal consistió en la caracterización de dos métodos diferentes de extracción sólido-líquido para la obtención de

oleorresina de Cardamomo (*Elettaria cardamomum*, L. Matton), tomando como parámetros de comparación los rendimientos obtenidos, las propiedades fisicoquímicas y fitoquímicas de los extractos obtenidos. Para llevar a cabo dicha investigación se utilizaron dos métodos de extracción, maceración dinámica y maceración estática, utilizando como solvente etanol al 95 % v/v y cardamomo con un tamaño entre 840 y 1,190 micrones y una humedad menor a 15 % w/w. Se analizó dos métodos: estático y dinámico (800 rpm), cada extracción se llevó a cabo a tres diferentes temperaturas, 25 °C, a 50 °C y 78 °C, esto para poder determinar el efecto de la temperatura en el rendimiento y propiedades de las oleorresinas obtenidas.

Así mismo se determinó que existe diferencia significativa entre cada uno de los métodos. El método con mayor rendimiento fue la maceración dinámica a 25 °C con un rendimiento de $20,968 \pm 1,073$ %. Además, se determinó cuáles son los metabolitos secundarios de mayor presencia en la oleorresina de cardamomo, siendo estos: acetato de α -terpinilo, limoneno, α -terpineol, linalool y nerolidol. La presencia de estos fue determinada a través de cromatografía en capa fina y cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas.

En el año 2006 se realizó otra investigación de cardamomo por parte de la Ingeniera Química Krista Ivonne Aguilar Ovando, titulada Evaluación de un método experimental de generación de datos a nivel de laboratorio para el estudio del sistema ternario aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum*) - (Alcohol isopropílico-Agua), 50 %- benceno en equilibrio a dos temperaturas diferentes y 640mm Hg; dicha investigación tuvo como objetivo principal, la evaluación de un método experimental para la generación de datos a nivel de laboratorio del sistema Aceite Esencial de Cardamomo-(IPA-Agua), 50 %- Benceno, en equilibrio líquido-líquido. En dicha investigación se trabajó para dos distintas temperaturas el sistema ternario ($25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y $10 \pm 5^{\circ}\text{C}$), para cada una

de las temperaturas trabajadas se obtuvieron curvas de calibración que relacionan el índice de refracción contra la composición porcentual en peso del cardamomo, para las mezclas binaria de aceite esencial de cardamomo-(alcohol isopropílico-agua), 50 por ciento y aceite esencial de cardamomo-benceno. Obteniendo como resultado que el aceite de cardamomo no es soluble sensiblemente en agua, en contraste con el Isopropanol puro, que es miscible completamente en el Benceno. Se emplearon los métodos de picnometría y refractometría obteniendo como resultado que el índice de refracción para un sistema de aceite de cardamomo (IPA-Agua), 50 % aumenta al incrementar la concentración de aceite de cardamomo y en el sistema, aceite esencial de cardamomo y benceno se observó que el índice de refracción disminuye al aumentarse la concentración de aceite esencial de cardamomo; este comportamiento fue igual para ambas temperaturas de trabajo.

En el año 2003 hay un estudio realizado por la Ingeniera Industrial, Julissa Anawaleska Barrios, con el título de: *Proyección del aceite esencial de cardamomo como eco-producto en el e-COMMERCE*. Dicho estudio tuvo como objetivo principal proyectar una empresa productora de aceites esenciales en el e-commerce para promover un e-coproducto. Concluyendo que el comercio electrónico es una alternativa comercial para alcanzar mercados internacionales y abrir las puertas para comercialización global del aceite esencial de cardamomo.

En el año 2002, se realizó en Ingeniería Química un estudio de tesis titulado *Evaluación del rendimiento de extracción de aceite esencial de cardamomo a partir de semilla de (Elettaria cardamomum)*, de tres calidades distintas cultivadas en el departamento de Suchitepéquez; realizado por la Ingeniera Química Vivianne Patricia Ruiz Valenzuela. Dicho estudio tuvo como objetivo principal, establecer parámetros de comparación del rendimiento de extracción de aceite

esencial de la semilla de cardamomo de diferentes calidades. Obteniendo como resultado que el rendimiento de aceite esencial obtenido fue en un rango de 3,21 % a 3,68 %; en este estudio se determinó que el rendimiento de aceite esencial no se ve afectado por la calidad del cardamomo, utilizando para la extracción, el método de arrastre por vapor, y manteniendo constantes el resto de las variables de proceso.

En el año de 1998 por el Ingeniero Industrial, Ronald Ramiro Sierra López, titulada *Proceso de beneficiado de cardamomo para exportación*. Dicha investigación tuvo como objetivo principal describir un programa de Buenas Prácticas de Manufactura para el beneficiado de cardamomo para garantizar el cumplimiento mínimo de los estándares para la exportación de cardamomo, basándose no solamente en el color y granulometría (tamaño de grano), sino también estableciendo un estándar de peso, empaque para la conservación del grano, volumen entre otros. Se determinó que la clasificación de cardamomo por color aumenta al realizarse en clasificadores ópticos, sin embargo, el costo de estas es muy elevado por lo que en su mayoría se realiza de forma manual.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Cardamomo

Planta Zingiberáceas, constituida por una fruta madura y seca o por los granos de *elektaria cardamomum*, de hojas grandes, tallos gruesos y carnosos, flores blancas, algo verdes, agrupadas en racimos; Se presentan bajo la forma de cápsulas o granos de cardamomo. Es una planta arbustiva propia de regiones montañosas y húmedas, así como de sitios sombríos.¹

Es originaria de las selvas tropicales de la India meridional, Sri Lanka, Malasia y Sumatra, y en la actualidad se cultiva también en Nepal, Tailandia y América Central, siendo Guatemala el mayor productor mundial.

Figura 1. Flores de cardamomo



Fuente: CARDEGUA. *Arbolitos energéticos disponibles*.

<http://cardegua1.blogspot.com/2010/04/arbolitos-energeticos-disponibles.html?m=1>. Consulta: noviembre de 2013.

¹ RAMÍREZ PÉREZ, Kimberlin Yolanda. *Evaluación comparativa de la calidad y rendimiento de la oleorresina de cardamomo (Elektaria cardamomum) obtenida a nivel laboratorio utilizando materia prima sana y materia prima infestada con TRIPS (Frankliniella occidentalis)*. p. 5.

Figura 2. **Hojas de cardamomo**



Fuente: CARDEGUA. *Arbolitos energéticos disponibles*.

<http://cardegua1.blogspot.com/2010/04/arbolitos-energeticos-disponibles.html?m=1>. Consulta: noviembre de 2013.

La planta posee hojas, las cuales son sésiles (no tienen tallo), puntiagudas y enteras, miden aproximadamente 60 cm de largo y están recubiertas por tricomas (vellos), en la parte inferior. Sus flores son pequeñas entre 1 y 1 ½ pulgadas, de color amarillo verdoso con la punta blanca y unas vetas de color purpura. El fruto es una cápsula ovalada de tres caras, de color crema y coriácea. Tiene un largo aproximado de 1.9 cm y cada cápsula contiene de 15 a 20 semillas duras angulares de color café-oscuro que son caracterizadas por su fuerte olor aromático y su sabor.

2.1.1. Condiciones apropiadas para el cultivo

El cardamomo es una planta que responde perfectamente a los suelos ricos en materia orgánica, con gran cantidad de nutrientes disponibles, profundos, tropicales y sobre todo, una característica importante que debe tener el suelo es que contenga buena aireación y permeabilidad.

2.1.1.1. Clima y suelos

Es una planta de sombra, aunque también se puede cultivar al sol en zonas de mucha nubosidad. Se recomienda sembrarla en terrenos con pendiente moderada (5 a 25 %), para favorecer el drenaje.

Requiere mucha humedad, más de 1 500 mm de precipitación al año y no soporta épocas secas prolongadas mayores de tres meses.

La temperatura óptima para su cultivo está entre 18 y 22 °C, lo que normalmente se obtiene a alturas entre 800 y 1 300 msnm.

Prefiere los suelos orgánicos, livianos, preferiblemente de bosque, con muy buen drenaje, aunque se comportan muy bien en suelos volcánicos.

2.1.1.2. Propagación

El cardamomo se propaga por semilla y por partes de plantas.

Cuando se reproduce por semilla, la semilla debe tomarse de frutos maduros y grandes y sanos producidos en muy buenas plantas productoras, se lavan y se secan a la sombra.

La siembra de los semilleros se debe hacer en un plazo máximo de quince días después de cosechada la semilla debido a que esta pierde rápidamente la capacidad de germinación. a los 30 días empieza a germinar escalonadamente y dos o cinco meses después de germinadas, las plántulas se pueden trasplantar al almácigo separadas entre 25 y 50 cm, donde se mantiene entre ocho meses y un año antes de ser llevados al campo definido.

Este tipo de propagación tiene el inconveniente de necesitar mucha cantidad de semilla, porque su germinación es baja y a que la cosecha se inicia hasta los cuatro años del cultivo.

Si se propaga por medio de partes de planta, la planta madre escogida se secciona en partes que incluyan raíces, yemas y por lo menos tres tallos, uno adulto y dos jóvenes; estas secciones se plantan inmediatamente en el campo definitivo.

2.1.1.3. Siembra

La siembra puede hacerse bajo sombra, bosque raleado con 50-60 % de sombra, o a pleno sol, junto con la siembra de árboles de sombra. Se debe tener presente que la sombra es un requisito indispensable para este cultivo.

La distancia de siembra es de 3 m en cuadro, ya que la planta crece de 3 a 5 m y en tres años prácticamente cierra.

Si se siembran árboles de sombra, se colocarán a una distancia de 5 a 6 m para luego ralearlos a la distancia de 10 a 12 m.

2.1.2. Manejo de la plantación

A continuación, se detallan los puntos más importantes en el manejo de la plantación.

2.1.2.1. Fertilización

Esta planta prospera muy bien en suelos orgánicos por lo que se recomienda la adición de materia orgánica.

Para plantas jóvenes, es recomendable fertilizar básicamente con nitrógeno, dos veces al año. Las plantas en producción se deben fertilizar con fórmulas completas de nitrógeno, fósforo y potasio, en cantidades determinadas con base en el análisis de suelo, ya que es muy poca la investigación realizada sobre fertilización.

Al efectuar esta labor, se debe tener mucho cuidado de no quemar las ramas florales con el abono.

2.1.2.2. Combate de malezas

En plantas jóvenes se debe mantener limpio, por lo menos, alrededor de la cepa. Si el bosque es bajo, es fácil hacerlo con machete o a mano alrededor de la cepa y en las entrecalles se puede aplicar herbicidas quemantes.

Cuando la planta crece, cierra el paso de luz al suelo por lo que crecen pocas malezas y con uno a dos limpiezas al año es suficiente.

Al realizar estas labores se debe tener cuidado de no dañar las raíces, las que son muy superficiales y si se hieren pueden ser puerta de entrada de hongos y bacterias del suelo.

2.1.2.3. Poda y limpia de la cepa

Por su forma de crecimiento en cepas y por esta bajo sombra, hay muerte de tallos y hojas viejas que si se dejan en la cepa son un problema de sanidad y dificultan la cosecha.

Deben hacerse limpias periódicas de la hojarasca y podar los tallos viejos y quebrados a una altura entre 50 y 80 cm, para evitar las pudriciones, perder la rama fructífera, y los brotes vegetativos que se producen en su base.

2.1.3. Plagas del cardamomo

Las plagas más importantes que afectan el cardamomo se detallan a continuación.

2.1.3.1. Insectos dañinos y su combate

Picudo Cholus (subcaudata) pilicauda (Coleoptera: Curculionidae). El insecto, adulto es un picudo de color café claro que mide aproximadamente 1,5 cm. La larva se alimenta en la base del tallo y la raíz y hace túneles que debilitan la planta, los que sirven como puerta de entrada para pudriciones ocasionadas por patógenos como *Erwinia carotovora* y *Fusarium spp.* Sin embargo, el adulto es el que produce el mayor daño ya que se alimenta de las bellotas tiernas y les extrae todo su contenido, lo que impide la formación de las semillas.

El combate de esta plaga puede hacerse, mediante la recolección de los insectos adultos cuando la población no es muy alta, en las horas del día más calientes, o sea, después de las 9 a.m.

Es muy importante mantener la plantación libre de malezas, especialmente las que son hospederas de esta plaga como el heliotropo.

Este insecto tiene algunos enemigos naturales como una mosca cuyo nombre científico es *Paradexdes* sp. y el hongo entomófago *Beauveria bassiana*.

Para el combate químico, hacer aspersiones con endosulfan (Thiodan 35 % CE, 375 cc/100 l), dirigidas a la base de la planta, siempre que el ataque sea muy serio, ya que se pueden eliminar los insectos polinizadores y los enemigos naturales, lo cual agravaría la situación. Se debe considerar que la última aplicación de este producto debe aplicarse un mes y medio mes antes de la cosecha.

En zonas muy infectadas de la planta conocida como heliotropo no se recomienda tener plantaciones comerciales de esta especie.

Trips Taeniotrips cardamoni (Thysanoptera: Thripidae)

Son insectos pequeños de aproximadamente 1,5 mm de longitud que producen un raspado en las hojas y atacan, sobre todo, cuando las condiciones ambientales son secas.

Hacer aspersiones con alguno de los siguientes insecticidas, máximo un mes antes de la cosecha: monocrotofos (Nuvacron 60 % CE, 1 l/ha), acefate (Orthene 75 %, 1 kg/ha) o dimetetoato (Perfektion 50 % CE, 1-1,5 l/ha).

Zompopa Atta spp., *Acromyrmex spp.* (Hymenoptera: Formicidae).

Son hormigas grandes de color café o rojizo, con espinas en el dorso de la cabeza que cortan las hojas donde crece un hongo del cual se alimentan.

Cuando las colonias se empiezan a establecer, se puede destruir con aradas profundas. También puede utilizarse entre 25 y 50 gramos de mirex en la entrada de los hormigueros o caminos por donde pasan. Estos productos no se deben aplicar poco tiempo antes de que llueva, ni inmediatamente después del aguacero.

2.1.3.2. Ácaros y su combate

Arañita roja Tetranychus urticae (Acarina: Tetranychidae). Esta plaga provoca un amarillamiento fuerte en las hojas y necrosis en las partes afectadas. Atacan principalmente en época seca, pero si en el cultivo se mantiene la humedad relativa alta, esta plaga no es problema. Si el ataque es muy fuerte, aplique un producto acaricida como por ejemplo *azociclopin* o *binapacryl*).

2.1.3.3. Vertebrados y su combate

Ratas Rattus spp., atacan los frutos y se comen las semillas. Para combatirla, use cebos envenenados a base de algún grano como maíz o arroz, en mezcla con un producto químico como warfarina, clorofacinona o racumín.

2.1.3.4. Enfermedades y su combate

Pudrición basal Erwinia carotovora y Fusarium oxysporium, estos dos hongos causan un marchitamiento de la cepa, una eventual clorosis de las hojas, baja producción de hojas y caída prematura de los frutos.

Generalmente esta enfermedad se encuentra asociada con los ataques producidos por el picudo del cardamomo en la base de las plantas.

El combate se inicia con la escogencia de un terreno de buen drenaje y con pendiente adecuada (5-40 %).

Una vez establecida la plantación, si hay problema de drenaje se deben mejorar los drenajes del suelo, regular la sombra, realizar una limpieza profunda de malezas y de las plantas y hacer rondas alrededor de las cepas para evitar los excesos de humedad.

En casos severos, las plantas afectadas se deben eliminar y desinfectar el área con formalina al 5 %; al resto de la plantación se le puede aplicar una mezcla de un fungicida cúprico con un antibiótico (Agri-Mycin 100), en la base de la planta y si la plaga está presente, eliminarla y seguir todas las precauciones para disminuir su proliferación.

2.1.4. Producción y cosecha

La planta de cardamomo empieza a producir a los dos-tres años de haberla sembrado, cuando el método de propagación utilizado haya sido rizomas. Ahora bien, si fue por medio de semillas las primeras producciones empiezan entre los

3 y 4 años. Sin embargo, estas primeras producciones son bajas, pero incrementan conforme el tiempo en función de su manejo.

La producción se mantiene durante casi todo el año. La cosecha inicia entre los meses de junio y julio y finaliza entre marzo y abril.

La forma de cosecha es escalonada debido a que el desarrollo de las flores ubicadas alternamente en el tallo floral es heterogéneo, primero desarrollan las flores de la base y gradualmente se van desarrollando las otras hasta llegar al ápice del tallo floral. Los primeros frutos cortados son los de la base y los últimos los del ápice. Cada uno de estos en su ramificación secundaria puede tener de 12 a 20 frutos.

Por lo general el brote de tallos florales se inicia en los meses de diciembre a enero y su crecimiento se prolonga hasta marzo o abril. La formación del fruto se realiza de abril a julio, y la maduración se lleva a cabo entre julio y abril, es decir aproximadamente a los 5 meses después de la floración y después de la primera recolección ésta se realiza cada 20 a 40 días durante casi todo el año.

La producción es muy variable anualmente, sin embargo, en el tercero y cuarto año pueden obtenerse unos 300^a 400 kg/Ha de cardamomo pergamino y en el quinto al sexto año unos 400 a 500 Kg/Ha, considerando una relación cereza/pergamino de 4,5:1 y una relación de 7:1 de fruto cereza a oro. Las mayores producciones reportadas en Guatemala son de 0.78 T/Ha a 0,91 T/Ha de producto pergamino, sin embargo, a media nacional es de 0,20 T/Ha.

2.1.4.1. Factores influyentes en producción Guatemala

- Existencia de diferentes condiciones climáticas
- Incidencia y severidad de plagas y enfermedades
- Alta variabilidad genética

La recolección debe ser realizada por una persona hábil para cortar solamente el fruto que se encuentra en óptima madurez. En promedio una persona puede cortar en promedio 28 libras/día. En Guatemala la cosecha tarda de 9 a 10 meses e inicia en julio para finalizar en abril.

Para mantener la producción comercial y la calidad del fruto conviene renovar la plantación entre los 15 y 20 años

Uno de los aspectos limitantes de la producción del cardamomo es la abscisión, tanto de flores como de frutos, lo cual se debe a mala nutrición, condiciones ambientales adversas, mala polinización, y factores intrínsecos de la planta.

2.1.5. Usos

Los usos más comunes que se le dan al cardamomo son:

2.1.5.1. Usos medicinales

La decocción de semillas se usa para tratar afecciones digestivas (diarrea, disentería, flatulencia, estreñimiento), respiratorias (asma, bronquitis, amigdalitis, tos) nerviosas y renales dolor de oído, sarcepteosis. La tintura se usa contra la flatulencia, las semillas como masticatorio para indigestión, náusea y halitosis.

Tópicamente se usa la infusión y el polvo en la preparación de cataplasmas, emplastos y enemas para tratar induraciones, inflamaciones, tumores y cáncer.

Se le atribuye la propiedad antiemética, aromática, carminativa, digestiva, diurética, emenagoga, espasmolítico, estomáquica, laxante, masticatoria, refrescante y tónica.²

2.1.5.2. Otros usos

“Las semillas y aceite son muy usadas como condimento culinario, saborizante de bebidas, postres, repostería y caramelos; potencializa el sabor de otros condimentos y combina bien con comino y culantro”³.

2.1.6. Composición química

Las semillas tienen aceite esencial (2-8 %), almidón (20-40 %), pentosano, aceite graso (1-4 %), ácidos caprílico, caprónico, palmítico, esteárico, oléico, y linoléico, esterol, oxalato de calcio, minerales y resina. La composición química del aceite esencial varía según las condiciones climáticas y variedades de vegetales.

El análisis proximal de 100 gramos de semilla fresca indica: 311 calorías, 8,3 g de agua, 10,8 g de proteína, 6,7 g de grasa, 68,5 g de carbohidratos, 11,3 g de fibra, 5,8 g de ceniza, 383 mg de calcio, 178 mg de fósforo, 14 mg de hierro, 18 mg de sodio, 1 179 mg de potasio, 0,2 mg de tiamina, 0,18 mg de riboflavina, 1,1 mg de niacina. La ceniza de semillas contiene SiO₂ (24,8 %), Na₂CO₃ (20,4 %), CaO (13,3 %), Cl (2,5 %), Al₂O₃ (1,5 %) y MnO (4,3 %).⁴

2.1.7. Farmacognosia

La materia médica es la semilla seca. Esta es albuminosa, 5 m. m. de largo, 3-4 lados, irregular, gris a café canalada en un lado, sabor picante, olor 12 aromático, 2-8 % de aceite. Microscópicamente presenta abundantes gránulos de almidón, capa de esclerenquima de la testa de células de pared delgada cada una con un nódulo de sílice; abundantes fragmentos de epidermis compuestos de prosénquima con capas pequeñas de células engrosadas; células de aceite de la testa grandes, poligonales a rectangulares, usualmente asociadas a epidermis e hipodermis;

² DEULOFEU GABRIEL, Nora Matilde. *Determinación del rendimiento de la oleorresina de tres distintas clases de cardamomo (Elattaria cardamomum Maton) cultivado en Alta Verapaz, extraída por maceración dinámica y dos solventes distintos, a nivel laboratorio.* p. 10.

³ Ibíd. p. 11.

⁴ Ibíd.

abundante parénquima del perisperma y dospermo; arilo compuesto de células de paredes muy delgada, alargadas e irregularmente fusiformes; prismas de oxalato de calcio en el perisperma, ocasionales vasos del rafe. De las semillas secas se obtiene el aceite esencial por destilación por arrastre de vapor con un rendimiento de 3-10 % y por extracción con disolventes orgánicos se obtiene la oleoresina con rendimiento de 52-58 %.

L

Las características fisicoquímicas del aceite esencial son: es un líquido incoloro o amarillo muy pálido con un aroma penetrante ligeramente alcanforado, persistente, picante y de fuerte sabor aromático, densidad 0,917-0,947 índice de refracción 1,4603-1,4660, rotación óptica a 25 °C +22,1° a +44°, valor ácido 0,36-1,3, índice de saponificación 96,5-156,4, insoluble en agua, soluble en etanol 70 % en relación 1:5, aunque puede ser opalescente, se utiliza para saborizar alimentos, eventualmente en la industria de perfumes y en la farmacéutica como carminativo.

El aceite esencial producido en Guatemala contiene acetato de α -terpinilo 50,75 %, 1,8-cineol 23,4 %, acetato de linalilo 6,3 %, linalool 4,5 %, sabineno 1,9 %, α -terpineol 1,9 %, α -terpineno 1,5 %, α -pineno 0,7 %, geranio 0,38 %, B-pineno 0,3 %, neral 0,15 %, acetato de geranilo 0,1 %, limoneno 0,1 % y otros 20 compuestos más.

El 1,8-cineol es un líquido incoloro, peso molecular 154, punto de ebullición 176 °C, densidad 0,9267, índice de refracción 1,4586, soluble en alcohol, insoluble en agua, es uno de los pocos componentes de fragancias que se obtiene exclusivamente por aislamiento de aceites esenciales. El acetato de α -terpinilo es un líquido incoloro con olor fresco a bergamotalavanda, tiene peso molecular 196, punto de ebullición de 140 °C, densidad 0,9659, índice de refracción 1,4689; ambos se usan como saborizantes y fragancias. El α -terpineol es un líquido, peso molecular 154, punto de fusión 81-82 °C, densidad 0,9338, índice de refracción 1,4818, rotación óptica específica 92. 45 °C, solidifica a 31 °C; usado en la industria de perfumes y en la farmacéutica como antiséptico. En la formulación de alimentos y medicamentos se usan semillas secas, infusión, aceite esencial, extracto fluido y tintura. Las semillas forman parte de complejas preparaciones de la medicina tradicional ayurvédica, como por ejemplo en la formulación de drogas cardio activas.

Su uso es oficial en varios países, por lo que se encuentra en varias farmacopeas. Se comercializan preparados, fitofarmacéuticos como infusión, aceite esencial, extracto fluido y tintura.⁵

2.1.8. Farmacología

Estudios antimicrobianos demuestran que el extracto etanólico de las semillas no tiene actividad contra bacterias gram-positivo, gram negativo y *C. albicans*.

Estudios farmacológicos demuestran que la semilla y el aceite volátil tienen actividad estimulante del apetito, digestiva, carminativa, bacteriostática y antifúngica. Los extractos acuosos (127 mg/Kg.) y metabólico (109 mg/Kg.) disminuyen significativamente la secreción gástrica (volumen de jugo, excreción de

⁵ Ibíd. pp. 12-13.

ácido y pepsina) 3 horas después de administrar a conejos en el estómago por un catéter gástrico, comparado con la cimetidina.⁶

2.1.9. Beneficiado del cardamomo

El fruto pergamino consiste en el estado seco del fruto maduro, pero aún conserva su coloración verde. El oro es básicamente la semilla del fruto.

2.1.10. Proceso del beneficiado

- Pesado: consiste en pesar la cantidad de cerezas que entran al beneficio. Esto sirve no solo para pagar la cantidad acordada, sino también para determinar el rendimiento.
- Lavado: este paso no siempre se lleva a cabo, únicamente se realiza cuando el cardamomo viene sucio.
- Secado: 18 a 42 horas de secado en un horno a temperatura media de 50 °C. Hay que mencionar que la temperatura va subiendo gradualmente. Se produce una deshidratación donde la humedad del fruto se extrae lentamente para conservar la coloración verde.
- Descolado: consiste en la eliminación del pedúnculo o residuo floral presente en el ápice del fruto seco. La eliminación es por medio de frotamiento manual. Aunque actualmente ya existen máquinas que facilitan el proceso.

⁶ Ibíd. p. 14.

- Segunda pesada: se realiza para determinar el rendimiento. En Alta Verapaz se obtiene 1 qq pergamino por 4.87 de cereza; En la parte sur de Guatemala la relación es de 3.5:1.
- Clasificación:
 - Primera, segunda
 - Tercera, verde abierto
 - Amarillo y oro
- Empaque y traslado: una vez se obtiene el pergamino se procede a empacarlo.

2.2. Secado

El secado es un método de conservación de alimentos consistente en extraer el agua de estos, lo que inhibe la proliferación de microorganismos y dificulta la putrefacción.

La operación de secado es una operación de transferencia de masa de contacto gas-sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, con base en la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa.

2.2.1. Cantidad de humedad de los sólidos

El contenido de humedad de un producto puede expresarse sobre la base del peso húmedo, i.e. masa de agua por unidad de masa de producto húmedo, o

sobre la base del peso seco, i.e. masa de agua por unidad de masa de componentes sólidos desecados, el último método se utiliza más frecuentemente en los cálculos de la desecación.

L.O.D: humedad de un sólido expresado en base al peso del solido húmedo. El contenido de humedad de un sólido o solución generalmente se describe en función del porcentaje en peso de humedad; a menos que se indique otra cosa, se sobreentiende que está expresado en base húmeda, es decir, como:

$$\%LOD = \frac{\text{Peso de agua en la muestra}}{\text{Peso de la muestra húmeda}} \quad (\text{Ec. 1})$$

LOD es calculada utilizando una balanza que tiene una fuente de calentamiento, no interfiriendo otros materiales volátiles.

2.2.2. Contenido de humedad. (*Moist Content*) M.C., para expresar de un sólido en base al peso de la muestra seca

Para expresar la humedad de un sólido con base en el peso de la muestra seca.

$$\%MC = \frac{\text{Peso de agua en la muestra}}{\text{Peso de muestra seca}} \quad (\text{Ecu. 2})$$

Este término es más real.

2.3. Secadores

Los secadores más utilizados en la industria se enlistan a continuación.

2.3.1. Secadores para sólidos y pastas

Los diferentes secadores para sólidos y pastas se describen a continuación.

- **Secadores de platos perforados**

Los secadores de platos resultan convenientes cuando la velocidad de producción es pequeña. Prácticamente pueden secar cualquier producto. Con frecuencia, se utilizan en el secado de materiales valiosos tales como colorantes y productos farmacéuticos. El secado por circulación de aire sobre capas estacionarias de sólidos es lento y, por consiguiente, los ciclos de secado son largos; de 3 a 48 horas por carga. Los secadores por platos pueden operar al vacío, casi siempre con calentamiento indirecto. Los platos se sitúan sobre placas metálicas huecas que se calientan con vapor de agua o con agua caliente o bien los mismos platos están provistos de espacios para un complemento fluido. El vapor que sale del sólido se retira mediante un eyector o bomba de vacío.

- **Secadores de tamices transportadores**

Los secaderos de tamiz transportador operan de forma continua y suave con una gran variedad de sólidos; en su coste es razonable, y el consumo de vapor de agua es bajo, siendo típico el valor de 2 lb de vapor de agua por lb. de agua evaporada. El aire puede circular desde una sección a otra en contracorriente con el sólido. Estos secaderos son especialmente aplicables cuando las condiciones de secado han de modificarse notablemente a medida que disminuye el contenido de humedad del sólido.

- Secadores de torre

Un secadero de torre contiene una serie de bandejas dispuestas unas encima de otras sobre un eje central rotatorio. La alimentación de sólidos se introduce sobre la bandeja superior y está expuesta a una corriente de aire o gas caliente que pasa sobre la bandeja. El sólido es después descargado por medio de una rasqueta y pasa a la bandeja inmediatamente inferior. De esta forma va circulando a través del secadero, descargando el producto seco por el fondo de la torre. Los flujos de gas y de sólido pueden ser en corrientes paralelas o en contra corriente. Los ventiladores de turbina hacen circular el aire o el gas hacia fuera entre algunas bandejas, pasando sobre los elementos de calefacción, y hacia dentro entre otras bandejas. Las velocidades del gas son generalmente de 2 a 8 pies/s (0,6 a 2,4 m/s). Las dos bandejas inferiores del secadero constituyen una sección de enfriamiento de los sólidos secos. El aire precalentado generalmente se introduce por el fondo de la torre y se expulsa por la parte superior, dando lugar a flujo en contracorriente. Un turbo secadero funciona parcialmente con secado superficial, como en un secadero de torre, y parcialmente en forma de lluvia de partículas cuando éstas caen de una bandeja a otra.

- Secadores rotatorios

Un secadero rotatorio consiste en una carcasa cilíndrica giratoria, dispuesta horizontal o ligeramente inclinada hacia la salida. Al girar la carcasa, unas pestañas levantan los sólidos para caer después en forma de lluvia a través del interior de las carcasas. La alimentación entra por un extremo del cilindro y el producto seco descarga por el otro. Los secadores rotatorios se calientan por contacto directo del gas con los sólidos, por gas caliente que pasa a través de un encadenamiento externo, o por medio de vapor de agua que condensa en último

de estos tipos recibe el nombre de secadero rotatorio con tubos instalados sobre la superficie interior de la carcasa. El último de estos tipos recibe el nombre de secadero rotatorio con tubos de vapor de agua. En un secadero rotatorio directo-indirecto el gas caliente pasa primeramente a través del encamisado y luego a través del encamisado y luego a través de la carcasa, donde se pone en contacto con los sólidos. Los secaderos rotatorios de este tipo se utilizan con frecuencia para sal, azúcar y todo tipo de materiales granulares y cristalinos que han de mantenerse limpios y que no se pueden exponer directamente a gases de combustión muy calientes.

- Secadores de tornillo transportador

Un secadero de tornillo transportador es un secadero continuo de calentamiento indirecto, que consiste esencialmente en un transportador horizontal de tornillo (o un transportador de palas), confinado dentro de una carcasa cilíndrica encamisada. La alimentación de sólido entra por el otro extremo. El vapor que se desprende se retira a través de una serie de tuberías situadas en la parte superior de la carcasa. La carcasa tiene un diámetro de 3 a 24 pulgadas (75 a 600 mm) y una longitud mayor se instalan varios transportadores unos encima de otros formando una bancada. Con frecuencia en una bancada de este tipo la unidad inferior está a temperatura más baja, debido a que el sólido seco, antes de su descarga, es enfriado con agua u otro refrigerante que circula por el encamisado. La velocidad de rotación del transportador es lenta, de 2 a 30 rpm. Los coeficientes de transmisión de calor están basados en la superficie interior de la carcasa, si bien esta generalmente está llena de un 10 a un 60 por 100. El coeficiente depende de la carga de la carcasa y de la velocidad del transportador. Los secaderos de tornillo transportador tratan sólidos que son demasiado finos y espesos para operar con un secadero rotatorio. Están conjuntamente cerrados y permiten recuperar los

vapores de disolvente con poco y ninguna dilución con aire. Cuando se les acopla un alimentador adecuado, pueden operar a un vacío moderado. Por tanto, pueden adaptarse a la separación y recuperación continua de disolventes volátiles a partir de sólidos húmedos con disolventes, procedentes de operaciones de lixiviación. Por esta razón a veces se les llama recuperadores de disolvente. Un tipo de secaderos relacionados con este equipo son los secaderos de película delgada.

- Secadores de lecho fluidizado

Los secaderos en los que los sólidos estén fluidizados por el gas de secado se utilizan en diversos problemas de secado. Las partículas se fluidizan con aire o con gas en una unidad de lecho hirviente. La mezcla y la transmisión de calor son muy rápidas. La alimentación húmeda se introduce por la parte superior del lecho y el producto seco se retira lateralmente cerca del fondo. En el secadero hay una distribución al azar de los tiempos de residencia, siendo el tiempo medio típico de permanencia de una partícula en el secadero de 30 a 120 s cuando solamente se vaporiza líquido superficial, y de 15 a 30 minutos si también hay difusión interna. Las partículas pequeñas se calientan hasta la temperatura seca del gas fluidizante a la salida; por consiguiente, los materiales técnicamente sensibles han de secarse en un medio suspendido relativamente frío. Aun así, el gas de entrada puede estar caliente ya que la mezcla es tan rápida que la temperatura es prácticamente uniforme en todo el lecho e igual a la temperatura de salida del gas. Si hay partículas finas, que entran con la alimentación o bien que se forman por la abrasión del lecho fluidizado, puede existir un considerable transporte de sólidos con el gas que sale y ser necesario instalar ciclones y filtros de mangas para la recuperación de finos. Algunos secaderos de lecho fluidizado poseen compartimientos fluidizados separados, a través de los cuales pasan secuencialmente los sólidos desde la entrada hasta la salida. Reciben el nombre

de secaderos de flujo pistón y en ellos el secado se pueden variar de un compartimiento está fluidizado con gas frío con el fin de enfriar los sólidos antes de la descarga.

- Secadores *flash*

En un secadero flash se transporta un sólido húmedo pulverizado durante pocos segundos en una corriente de gas caliente. El secado tiene lugar durante el transporte. La velocidad de transmisión de calor desde el gas hacia las partículas de sólido suspendido es elevada y el secado es rápido, de forma que son se requieren más de 3 o 4 segundos para evaporar toda la humedad del sólido. La temperatura del gas es elevada-con frecuencia del orden de 1 200 grados F a la entrada-, pero el tiempo de contacto es tan corto que la temperatura del sólido raramente supera los 100 grados F durante el secado. Por tanto, el secado flash se puede aplicar a materiales sensibles que en otro tipo de secaderos tendrían que secarse indirectamente con un medio de calefacción mucho más frío.

2.3.2. Secadores para diluciones y suspensiones

Algunos secaderos evaporan completamente disoluciones y suspensiones hasta sequedad por medios térmicos. Ejemplos típicos son los secadores de pulverización, los secaderos de película delgada y secadera de tambor.

- Secadores de pulverización

En un secadero de pulverización se dispersa una disolución o suspensión en una corriente de gas caliente formando una niebla de gotas finas. La humedad es rápidamente evaporada de las gotitas para formar partículas residuales de

sólido seco que después se separan de la corriente gaseosa. Los flujos de gas y líquido pueden ser en corrientes paralelas, en contracorriente o una combinación de ambos en una misma unidad. Las gotitas se forman en una cámara cilíndrica de secado por la acción de boquillas de presión, boquillas de flujo o en, secaderos de gran tamaño, por medio de discos de pulverización que giran a gran velocidad.

En todos los casos es esencial conseguir que las gotitas o partículas húmedas de sólido choquen con superficies sólidas antes de que el secado tenga lugar, por lo que la cámara de secado ha de ser necesariamente grande. Son frecuentes diámetros de 8 a 30 pies (2,5 a 9 m). Las principales ventajas de los secaderos de pulverización son el corto tiempo de secado, que permite el secado de materiales altamente sensibles al calor, y la producción de partículas esféricas huecas.

La consistencia, densidad global, apariencia y propiedades de flujo deseadas para algunos productos, tales como alimentos o detergentes sólidos; pueden ser difíciles o imposibles de obtener mediante cualquier otro tipo de secadero. Los secaderos de pulverización también tienen la ventaja de producir, a partir de una disolución, suspensión, o pasta cremosa, en una sola etapa un producto se pueda envasar fácilmente. Un secadero de pulverización puede combinar las funciones de un evaporador, un cristizador, un secadero, una unidad de reducción de tamaños y un clasificador. Cuando puede utilizarse, la simplificación que resulta en el proceso global de fabricación puede ser considerable.

Considerando exclusivamente su acción de secado, los secaderos de pulverización no son muy eficaces. Generalmente se pierde mucho calor con los gases que salen. Son de gran tamaño, con frecuencia de 80 pies (25 m), o más

de altura, y no siempre resultan de operación sencilla. La densidad global del sólido seco (una propiedad de radical importancia para productos envasados), con frecuencia es difícil de mantener constante, ya que puede ser muy sensible a variaciones del contenido de sólidos, a la temperatura de entrada del gas y a otras variables.

En el secado por pulverización de disoluciones la evaporación desde la superficie de las gotas conduce a la deposición de soluto en la superficie antes que al interior de la gota alcance su saturación. La velocidad de difusión del soluto hacia el interior de la gota es menor que el flujo de agua desde el interior hacia la superficie, de tal forma que todo el soluto se acumule en la superficie.

Las partículas secas generalmente están huecas y el producto que se obtiene en un secadero de pulverización es muy poroso.

- Secadores de película delgada

En algunos casos pueden ser competitivos con los secaderos de pulverización los secaderos de película delgada, que pueden aceptar una alimentación líquida o una suspensión para dar lugar a un producto sólido que fluye libremente. Generalmente se construyen en dos secciones; la primera de ellas es un secadero-agitador vertical. Aquí la mayor parte del líquido se separa de la alimentación, y el sólido parcialmente húmedo descarga en la segunda sección, donde el contenido residual del líquido del material procedente de la primera sección se reduce hasta el valor deseado. La eficacia térmica de los secaderos de la película delgada es elevada y se produce una escasa pérdida de sólidos ya que poco o nada de gas se retira de la unidad. Son útiles para separar y recuperar disolventes de productos sólidos. Son relativamente caros y están limitados en cuanto al área de transmisión de calor. Tanto con

alimentaciones acuosas como no acuosas la velocidad de alimentación aceptable está generalmente comprendida entre 20y 40 lb/pie²-h (100 y 200 kg/m²-h).

- Secadores de tambor

Un secadero de tambor consiste en uno o más rodillos metálicos calentado, en cuya superficie exterior se evapora hasta sequedad una delgada capa de líquido. El sólido seco es retirado de los rodillos a medida que estos giran lentamente. El líquido de alimentación queda confinado en la parte superior de los rodillos y limitado por placas estacionarias. El calor es transmitido por conducción hacia el líquido que es parcialmente concentrado en el espacio comprendido entre los rodillos. El líquido concentrado desciende formando una capa viscosa que recubre el resto de la superficie de los tambores, dejando una delgada capa de material seco que es retirado mediante cuchillas rascadoras y cae en los transportadores situados debajo. La humedad evaporada se recoge y retira a través de la campana situada encima de los tambores. Los secaderos de doble tambor son eficaces con disoluciones diluidas, disoluciones concentradas de materiales muy solubles, y con suspensiones de partículas relativamente finas. No son adecuados para disoluciones de sales de solubilidad baja o para suspensiones de sólidos abrasivos que sedimentan y crean una presión excesiva entre los tambores.

2.3.3. Métodos especializados de secado

Por aspersión

El secado por aspersión, pulverización o *spray drying* se utiliza desde principios del siglo XX. Aunque existen patentes para el SA de huevos y leche desde 1850, la atomización industrial de alimentos apareció en 1913 en un

proceso desarrollado para leche por Grey y Jensen. El primer equipo rotativo lo desarrolló el alemán Kraus en 1912 pero, comercialmente se conoció gracias al danés Nyro en el año de 1933.

El principio de este sistema es la obtención de un producto en polvo a partir de un material líquido concentrado que se pulveriza finamente formando una niebla que entra en contacto con una corriente de aire caliente (entre 200 y 300 °C para alimentos), que actúa como medio calefactor y fluido de transporte.

En estos sistemas la transformación tiene lugar mediante una única operación de una alimentación líquida (solución, suspensión o emulsión), en un producto seco en polvo.

La alimentación es atomizada mediante un disco giratorio o boquillas de aspersión, donde la nube de gotas formada entra en contacto directo y por poco tiempo con una corriente de aire caliente; en consecuencia, se presenta una rápida evaporación que mantiene bajas temperaturas en las gotas atomizadas, favoreciendo la aplicación de altas temperaturas en el aire de secado sin afectar las características del producto.

2.4. El secado en la industria de cardamomo

La razón más importante desde el punto de vista técnico, del porqué del secado del cardamomo se debe a la conservación; por este método se promueve el mantenimiento de los componentes del vegetal fresco y se evita la proliferación de microorganismos.⁷

Actualmente la Industria cardamomera guatemalteca, trabaja con diferentes tipos de secadores, ya sean de leña, kerosén o diésel, siendo el más utilizado, el secador de leña. Esto atrae muchos problemas debido a que la deforestación de los bosques es masiva y como si eso no fuera suficiente, el secado suele ser deficiente,

⁷ Herbotecnia. *Secado de hierbas aromáticas y medicinales – métodos*. <http://www.herbotecnia.com.ar/poscosecha-secadoMetodos.htm>. Consulta: octubre de 2013.

ya que es acumulado en pilas dentro del secador, dejándolo al aire libre y no teniendo un control de la temperatura de secado, alcanzando temperaturas de hasta 60 °C, siendo este un problema debido a que tanto las plantas aromáticas como medicinales no deben de secarse a una temperatura mayor a 40 °C.⁸

Al secar a una temperatura mayor a la estipulada, se descompone las partes aromáticas del cardamomo, ocasionando una pérdida valiosa de aceites esenciales, oleorresinas, resinas, entre otros.

La temperatura ideal para secar cardamomo permanece en un rango de 35 °C a 40 °C por un promedio de 1 a 2 días, dependiendo de la cantidad de cardamomo a secar.

2.5. Aceites esenciales

Son los compuestos odoríferos naturales que ocurren en las plantas y que son aislados de las mismas; generalmente líquidos (en algunas ocasiones semisólidos y muy raras veces sólidos); poco solubles en agua, pero sí volatilizables con vapor, se evaporan a diferentes velocidades bajo presión atmosférica.

Los aceites esenciales de las plantas son las sustancias responsables del olor formado en la planta, tomando materiales exteriores, absorbiéndolos y transformándolos en fragmentos del sistema de la planta como parte de la estructura celular, con una consistencia rígida. Aún no se conoce la utilidad que obtiene la planta de estos compuestos, pero se le atribuyen algunos de los siguientes beneficios: para regular su temperatura, liberándolos como vapores, como atractivo para los insectos colaboradores de la polinización, o como repelente para que los insectos dañinos no se aproximen. Otra opinión indica que los aceites esenciales son desechos del proceso metabólico de las plantas, los cuales no pueden desechar al exterior.

Cuando los aceites se mezclan unos con otros también se están mezclando sus beneficios. Algunas veces al mezclar aceites con propiedades diferentes estamos causando reacciones químicas en ellos. Las mezclas de aceites pueden enriquecer algunas propiedades o producir nuevas características.

Entonces los aceites esenciales se pueden definir como:

Productos obtenidos a partir de una materia prima vegetal, bien por arrastre con vapor, bien por procedimientos mecánicos a partir del epicarpio de los Citrus, o bien por destilación seca. El aceite esencial se separa posteriormente de la fase acuosa por procedimientos físicos en los dos primeros modos de obtención; puede sufrir

⁸ Ibíd.

tratamientos físicos que no originen cambios significativos en su composición por ejemplo, redestilación, aireación.⁹

Esta definición establece claramente las diferencias que existen entre los aceites esenciales officinales (que se usa en medicina), y otras sustancias aromáticas empleadas en farmacia y perfumería conocidas vulgarmente como esencias. Están ampliamente distribuidos en coníferas (pino, abeto), mirtáceas (eucaliptus), rutáceas (*Citrus spp*), compuestas (manzanilla), si bien las plantas con aceites esenciales se ubican principalmente en las familias de las Labiadas (menta, lavanda, tomillo, espliego, romero) y las umbelíferas (anís, hinojo).

Pueden estar en diferentes órganos: raíz, rizoma (jengibre), leño (alcanfor), hoja (eucaliptus), fruto (anís), sumidades floridas (*F. Labiatae*).

La composición varía con el lugar de origen. También varía con el hábitat en que se desarrolle, (por lo general climas cálidos tienen mayor contenido de aceites esenciales), el momento de la recolección, el método de extracción, entre otros.

Entre las principales propiedades terapéuticas debidas a la presencia de aceites esenciales, cabe destacar la antiséptica (durante muchísimos años estas especies vegetales se han empleado como especias, no solo para dar sabor sino también para conservar los alimentos); antiespasmódica; expectorante; carminativa y eupéptica; entre otros. Se debe tener en cuenta que algunos aceites esenciales, sobre todo a dosis elevadas, son tóxicos, principalmente a nivel del sistema nervioso central. Otros, como el de ruda o enebro, se considera

⁹ UPM. *Uso industrial de plantas aromáticas y medicinales*. <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/uso-industrial-deplantas-aromaticas-y-medicinales/contenidos/material-declase/tema7.pdf>. Consulta: 20 de octubre de 2013.

que poseen propiedades abortivas. Algunos también pueden ocasionar problemas tópicos, irritación o alergias.

Además de sus propiedades terapéuticas, los aceites esenciales tienen un gran interés industrial en la industria farmacéutica, en alimentación y sobre todo en perfumería.

2.5.1. Clasificación de los aceites esenciales

Los aceites esenciales pueden clasificarse en base a diferentes criterios:

- Consistencia
- Origen
- Naturaleza Química

2.5.1.1. Consistencia

De acuerdo con su consistencia los aceites esenciales se clasifican en:

- Esencias
- Bálsamos
- Resinas

Esencias: Las esencias fluidas son líquidos volátiles a temperatura ambiente.

Bálsamos: los bálsamos son extractos naturales obtenidos de un arbusto o un árbol. Caracterizados por tener un alto contenido de ácido benzoico y

cinámico, así como sus correspondientes ésteres. Son de consistencia más espesa, son poco volátiles y propensos a sufrir reacciones de polimerización.

Ejemplos:

El bálsamo de copaiba, el bálsamo del Perú, Benjuí, bálsamo de Tolú, Estoraque, entre otros.

Resinas: dentro del grupo de las resinas se pueden encontrar a su vez una serie de posibles combinaciones o mezclas:

- Resinas: son productos amorfos sólidos o semisólidos de naturaleza química compleja. Pueden ser de origen fisiológico o fisiopatológico. Por ejemplo, la colofonia, obtenida por separación de la oleorresina trementina. Contiene ácido abiético y derivados.
- Oleorresinas, son mezclas homogéneas de resinas y aceites esenciales. Por ejemplo, la trementina, obtenida por incisión en los troncos de diversas especies de Pinus. Contiene resina (colofonia), y aceite esencial (esencia de trementina), que se separa por destilación por arrastre de vapor. También se utiliza el término oleorresina para nombrar los extractos vegetales obtenidos mediante el uso de solventes, los cuales deben estar virtualmente libres de dichos solventes. Se utilizan extensamente para la sustitución de especias de uso alimenticio y farmacéutico por sus ventajas (estabilidad y uniformidad química y microbiológica, facilidad de incorporar al producto terminado). Éstos tienen el aroma de las plantas en forma concentrada y son líquidos muy viscosos o sustancias semisólidas (oleorresina de pimentón, pimienta negra, clavo, entre otros).

- Gomorresinas, son extractos naturales obtenidos de un árbol o planta. Están compuestos por mezclas de gomas y resinas.

2.5.1.2. Origen

De acuerdo con su origen los aceites esenciales se clasifican como:

- Naturales: Los naturales se obtienen directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas posteriores, debido a su rendimiento tan bajo son muy costosas.
- Artificiales: Los artificiales se obtienen a través de procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno o varios de sus componentes, por ejemplo, la mezcla de esencias de rosa, geranio y jazmín, enriquecida con linalool, o la esencia de anís enriquecida con anetol.
- Sintéticos: Los aceites esenciales sintéticos como su nombre lo indica son los producidos por la combinación de sus componentes los cuales son la mayoría de las veces producidos por procesos de síntesis química. Estos son más económicos y por lo tanto son mucho más utilizados como aromatizantes y saborizantes (esencias de vainilla, limón, fresa, entre otros).

2.5.1.3. Naturaleza química

El contenido total en aceites esenciales de una planta es en general bajo (inferior al 1 %) per mediante extracción se obtiene en una forma muy concentrada que se emplea en los diversos usos industriales. La mayoría de

ellos, son mezclas muy complejas de sustancias químicas. La proporción de estas sustancias varía de un aceite a otro, y también durante las estaciones, a lo largo del día, bajo las condiciones de cultivo y genéticamente.

El término quimiotipo alude a la variación en la composición del aceite esencial, incluso dentro de la misma especie. Un quimiotipo es una entidad químicamente distinta, que se diferencia en los metabolitos secundarios. Existen pequeñas variaciones (ambientales, geográficas, genéticas, entre otros), que producen poco o ningún efecto a nivel morfológico que sin embargo producen grandes cambios a nivel de fenotipo químico.

Un caso típico es el del tomillo, *Thymus vulgaris*, que tiene 6 quimiotipos distintos según cuál sea el componente mayoritario de su esencia (timol, carvacrol, linalool, geraniol, tujanol – 4 o terpineol). Cuando esto ocurre, se nombra la planta con el nombre de la especie seguido del componente más característico del quimiotipo, por ejemplo, *Thymus vulgaris linalool* o *Thymus vulgaris timol*.

2.6. Caracterización fisicoquímica

Se entiende por categorización fisicoquímica, el determinar las características físicas y químicas de una solución, material, entre otros. Para los aceites esenciales, esto se puede realizar utilizando diferentes métodos y pruebas que determinan el comportamiento de dicha sustancia las cuáles se presentan a continuación:

2.6.1. Índice de refracción

Se denomina índice de refracción, al cociente entre la velocidad de la luz c en el vacío y la velocidad v de la luz en un medio material transparente.

El método para la obtención del índice de refracción se basa en la medida directa del ángulo de refracción; o bien, en la observación del límite de reflexión total. El índice de refracción es una magnitud exclusiva de cada aceite esencial y que cambia si se diluye o mezcla con otras soluciones.

2.6.2. Densidad

La densidad de un aceite esencial es una propiedad física que se caracteriza y está definida como el cociente entre la masa y el volumen de este.

Esta propiedad depende directamente de la temperatura, y al medir la densidad de un aceite esencial debe considerar la temperatura en la que se realiza la medición, en general esta medición se obtiene a temperatura ambiente.

La mayoría de los aceites esenciales poseen una densidad menor a la densidad del agua (a excepción del clavo de olor), por lo que esta es una referencia empleada constantemente al obtener aceites esenciales.

2.6.3. Solubilidad

Como se mencionó anteriormente, los aceites esenciales son insolubles en agua debido a que la densidad de estos es menor a la del agua. Con alcohol etílico, si a este se le va añadiendo agua de forma progresiva, la mezcla disolverá menos aceite esencial. Dependiendo del tipo de aceite esencial que se

trate se disolverá completamente en una mezcla alcohol-agua que lleve como máximo una determinada proporción de agua.

Por lo que se determina la proporción alcohol-agua, obteniendo la menor cantidad de alcohol en esta mezcla, la cual sea suficiente para disolver el aceite esencial formando una sola fase.

2.6.4. Cromatografía de gases acoplado a espectrofotometría de masas

La cromatografía de gases se emplea cuando los componentes de la mezcla problema son volátiles o semi-volátiles y térmicamente estables a temperaturas de hasta 350-400 grados Celsius. Es una técnica separativa que tiene la cualidad de conseguir la separación de mezclas muy complejas. Pero una vez separados, detectados, e incluso cuantificados todos los componentes individuales de una muestra problema, el único dato de que se dispone para la identificación de cada uno de ellos es el tiempo de retención de los correspondientes picos cromatográficos. Este dato no es suficiente para una identificación inequívoca, sobre todo cuando se analizan muestras con un número elevado de componentes, como es frecuente en cromatografía de gases capilar.

Por otra parte, la espectrometría de masas puede identificar de manera casi inequívoca cualquier sustancia pura, pero normalmente no es capaz de identificar los componentes individuales de una mezcla sin separar previamente sus componentes, debido a la extrema complejidad del espectro obtenido por superposición de los espectros particulares de cada componente.

La asociación de las dos técnicas, cromatografía de gases (GC), y espectrometría de masas (MS), da lugar a una técnica combinada GCMS que permite la identificación inequívoca de los componentes de los aceites esenciales.

La esencia se inyecta directamente en el cromatógrafo, sin ningún tratamiento previo, lo cual elimina posibles modificaciones en la composición de la muestra o en la estructura de sus constituyentes debidas a pretratamiento. No se eliminan las alteraciones debidas a la temperatura de análisis, que puede afectar componentes termosensibles.

En el cromatógrafo, los componentes de la esencia se separan, tras lo cual penetran en el espectrómetro de masas, que permite registrar el correspondiente espectro de cada una de las sustancias separadas. Los constituyentes del aceite esencial se identifican gracias a los diferentes patrones de fragmentación que se observan en sus espectros de masas. La CG-EM permite realizar en una sola operación, para una muestra del orden de 1µl, un análisis cualitativo junto con una indicación de las proporciones en las que se encuentran los componentes. Cuando se dispone de sustancia patrón, la calibración del equipo permite un análisis cuantitativo exacto de la muestra.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Localización

La parte experimental de esta investigación se llevó a cabo en el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal y en la Planta Piloto de Extracción-Destilación del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Los análisis fisicoquímicos se realizaron en el área de laboratorios del LIEXVE del centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería y en el departamento de Toxicología de la Facultad de CC.QQ. y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El cardamomo seco se obtuvo a través del presidente de CARDEGUA (Asociación de Cardamomeros de Guatemala), el cual fue secado y clasificado en el beneficio de cardamomo Los Pimentales de Sasay.

3.2. Variables

El proceso de evaluación del rendimiento del aceite esencial de cardamomo dependiendo del tipo de secado involucra las siguientes variables:

Tabla I. **Análisis de variables**

No	Variable	Dimensional	Factor potencial de Estudio		Factores Perturbadores	
			Independiente	Dependiente	Controlable	No Controlable
SECADO						
1	Temperatura	°C	X		X	
2	Apertura del Dámper	---	X		X	
3	Número de Resistencias	----	X		X	
4	Número de Bandejas	----	X		X	
5	Tiempo de Secado	h		X		X
6	Masa Por Secar	Kg	X		X	
7	Humedad de Entrada	Kg	X			X
8	Humedad de Salida	Kg		X		X
9	Cardamomo de Primera Obtenido	Kg		X		X
EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL						
10	Tamaño del Lote	Kg	X		X	
11	Tiempo de Extracción	h		X		X
12	Volumen de Aceite Esencial Obtenido (Cardamomo de Primera Secador de Bandejas)	mL		X		X
13	Volumen de Aceite Esencial Obtenido (Cardamomo de Primera Secador de Leña de la Industria)	mL		X		X
14	Densidad (Cardamomo de Primera, Secador de Bandejas)	g/mL		X		X

Continuación de la tabla I.

15	Densidad (Cardamomo de Primera, Secador de Leña de la Industria)	g/mL		X		X
16	Índice de Refracción (Cardamomo de primera Calidad, Secador de Bandejas)	----		X		X
17	Índice de Refracción (Cardamomo de primera Calidad, Secador de Bandejas)	----		X		X
18	Rendimiento del Aceite Esencial de Cardamomo (Secador de Bandejas)	----		X		X
19	Rendimiento del Aceite Esencial de Cardamomo (Secador De Leña de la Industria)	----		X		X

Fuente: elaboración propia.

3.2.1. Variables de operación

Las variables utilizadas en la operación se clasifican en:

3.2.1.1. Área de secado

- Temperatura

La temperatura en la que se llevó a cabo el secado de cardamomo no fue superior a 40 °C.

- Apertura del *dámper*

No se varió la apertura del *dámper* y se trabajó con una apertura del 100 %.

- Número de resistencias

El número de resistencias idóneas para secar plantas aromáticas es de 6, por lo que se trabajó con 6 resistencias para no dañar la materia prima.

- Número de bandejas

El secador de bandejas cuenta con 15 bandejas con capacidad de 1,35 lb y fueron utilizadas todas las bandejas.

3.2.1.2. Área de extracción de aceite esencial de cardamomo

- Temperatura

La temperatura de extracción se mantuvo constante aproximadamente en un rango de 90 °C-100 °C.

- Presión

La presión se mantuvo constante en un rango de 100 a 115 psi aproximadamente.

3.2.2. Variables de proceso

Las variables de procesos son:

3.2.2.1. Área de secado

- Flujo másico de aire

Se conservó una apertura del 100 % del dámper.

- Tiempo de secado

El tiempo de secado se determinó en función del porcentaje de humedad hasta alcanzar un porcentaje ≤ 12 %.

- Humedad del sólido

Se determinará la humedad presente del sólido después de terminado el secado.

3.2.2.2. Área de extracción del aceite esencial de cardamomo

- Tamaño del lote

Esto influirá de manera significativa en la extracción se determinará según la cantidad de material seco obtenido.

- Tiempo de extracción

Se determinará el tiempo de extracción máximo para obtener el mejor rendimiento.

3.3. Delimitación del campo de estudio

Este estudio de tesis se delimitó de la siguiente manera:

3.3.1. Lugar de obtención de la materia prima

La materia prima se obtuvo a través del presidente de CARDEGUA (Asociación de Cardamomeros de Guatemala), Patricio Quinteros, proveniente del beneficio de cardamomo Los Pimentales de Sasay.

3.4. Recursos humanos disponibles

- Investigadora: Brenda Amarylys Cermeño Dávila
- Asesora: Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales
- Asesor: Ing. Qco. Mario José Mérida Meré

3.5. Recursos materiales disponibles

A continuación, se enlistan los recursos materiales disponibles.

3.5.1. Equipo para secar

- Secador eléctrico de bandejas de flujo transversal con potencia de 12 000 W.

- Balanza de Humedad BOECO.
- Balanza Analítica.

Figura 3. **Secador de bandejas de flujo transversal**



Fuente: elaboración propia.

3.5.2. **Equipo para extraer el aceite esencial**

- Planta Piloto
 - Marmita
 - Condensador
 - Chiller (enfriador)
 - Caldera
 - Vaso Florentino

- Erlenmeyer
- Probeta

Figura 4. **Equipo de extracción (planta piloto)**



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Erlenmeyer**



Fuente: elaboración propia.

3.5.3. Equipo para realizar caracterización fisicoquímica

- Refractómetro marca Fisher Scientific, modelo: Espectroflash SF 300
- Picnómetro de 1 ml
- Balanza analítica
- Cromatógrafo de gases

Figura 6. **Refractómetro**



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Balanza analítica**



Fuente: elaboración propia.

3.5.4. Reactivos y materia prima

- Agua destilada
- Cardamomo de primera calidad obtenido del secador eléctrico de bandejas de flujo transversal.
- Cardamomo de primera calidad obtenido del secador de leña utilizado en la industria.

3.6. Técnica cuantitativa y cualitativa

En el análisis cualitativo se clasificó, después del secado, la calidad del cardamomo por color, siendo el verde el de mayor calidad; al cardamomo secado en la industria se le realizó el mismo procedimiento.

El aceite esencial se obtuvo por arrastre de vapor a escala piloto y este se caracterizó por color y olor, de igual forma para el cardamomo seco de primera calidad proveniente de la industria.

Se obtuvo el porcentaje de cardamomo de primera calidad después del secado en el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal; y el porcentaje de cardamomo de primera calidad obtenido del secado realizado por la industria.

Al aceite esencial de cardamomo obtenido se le realizaron diferentes análisis cuantitativos para determinar la influencia del tipo de secado en el rendimiento del aceite esencial obteniendo así, un estudio comparativo de los diferentes métodos de secado.

Tabla II. Variables cualitativas y cuantitativas

No.	Variable	Cualitativa	Cuantitativa
1	Abertura del dámper		X
2	Temperatura de operación		X
3	Tiempo de secado		X
4	Masa húmeda		X
5	Masa seca		X
6	Porcentaje de humedad		X
7	Color del cardamomo obtenido	X	
8	Volumen de aceite esencial		X

Continuación de la tabla II.

9	Densidad del aceite esencial de cardamomo		X
10	Volumen del disolvente extractor		X
11	Color del aceite esencial de cardamomo	X	
12	Índice de refracción	X	
13	Porcentaje de rendimiento del aceite esencial		X
14	Cromatografía de gases	X	

Fuente: elaboración propia.

3.7. Procedimiento

A continuación, se describe el procedimiento de secado y extracción de aceite esencial.

3.7.1. Preparación de la materia prima

Para realizar la preparación de la materia prima se separó en dos fases.

La primera fase consistió en la recolección de la materia prima a utilizar (4 quintales de cardamomo en cereza), para posteriormente, utilizar la operación unitaria de secado. Se utilizó el secador de bandejas eléctrico de flujo transversal que se encuentra en el laboratorio de extractos vegetales.

3.7.2. Secado de cardamomo

Se distribuyó el cardamomo en cereza, de manera uniforme en las 15 bandejas del secador, con el fin de secar la materia prima para la extracción del aceite esencial para la fase 2. Se trabajó a una temperatura de 40 °C y 6 resistencias con una apertura al 100 % del dámper.

Figura 8. Distribución de cardamomo en las bandejas del secador



Fuente: elaboración propia.

3.7.3. Rendimiento del secado

Para encontrar el rendimiento del secado se sumaron los pesos del cardamomo pergamino (semilla seca de cardamomo), y se comparó con los datos de la industria (CARDEGUA).

3.7.4. Porcentaje de humedad

Para realizar dicha operación se utilizó una balanza de humedad, en la cual se coloca un 1 gramo de la materia prima molida y posteriormente esta realiza su función; la balanza cuenta con un secador interno y automáticamente realiza un diferencial de pesos, peso al inicio y al final del proceso.

3.7.5. Clasificación del cardamomo seco

Se separó el cardamomo por clases:

- Cardamomo de primera calidad
- Cardamomo de segunda calidad
- Cardamomo de tercera calidad

Se tomó el cardamomo de primera y posteriormente se procedió a moler dicha materia prima en un molino de discos, para reducir el tamaño de la partícula y así facilitar la extracción del aceite esencial.

Figura 9. **Cardamomo de primera calidad**



Fuente: elaboración propia.

3.7.6. Extracción de aceite esencial a escala planta piloto

La extracción de aceite esencial de cardamomo se realizó por arrastre de vapor de agua, porque este método permite la separación de las sustancias volátiles y no volátiles e insolubles en agua del cardamomo.

Para realizar dicho proceso se trabajó bajo el siguiente procedimiento:

- Se pesó el cardamomo seco y molido del cual se le realizó la extracción de aceite esencial.
- Se colocó el sostenedor de platos de la marmita y se procedió a introducir el primer plato perforado, sobre este se agregó parte de la materia prima se realizó este proceso hasta finalizar con el último plato, se agregó un poco de agua en la marmita para facilitar la extracción del aceite y se procedió a cerrar la marmita asegurando que todos los pernos quedaran completamente sellados.

Figura 10. **Sostenedor de platos y plato perforado**



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Plato perforado con materia prima**



Fuente: elaboración propia.

- Se agregó agua al vaso Florentino, porque este siempre debe contener agua para atrapar el aceite esencial y facilitar la separación de este, debido a la insolubilidad en agua que este posee.

Figura 12. **Vaso Florentino**



Fuente: elaboración propia.

- Se encendió la caldera y se trabajó a una presión de 100 psi aproximadamente.

Figura 13. **Caldera a 100 PSI**



Fuente: elaboración propia.

- Se dejó recircular agua por el intercambiador de calor (condensador), por un tiempo de 5 minutos y posteriormente se dejó pasar vapor a través de la chaqueta de la marmita por tiempo de 10 minutos.
- Después de circular el agua de enfriamiento por el condensador se dejó pasar el vapor directo dentro de la marmita para que se realizara la transferencia de masa y de esa manera iniciar con la extracción de aceite esencial. El tiempo de extracción fue de 2 horas después de la caída de la primera gota de condensado.

Figura 14. **Primera gota de condensado**



Fuente: elaboración propia.

- Al recolectar el aceite esencial en el vaso florentino, después de dos horas de operación, se introdujo lo recolectado en una ampolla de decantación para separar las dos fases (agua y aceite esencial), dejándolo reposar por un tiempo de (25 a 30 minutos aproximadamente), para la correcta separación del aceite esencial.

Figura 15. **Ampolla de decantación**



Fuente: elaboración propia.

- Después de la separación de las dos fases en la ampolla de decantación se procedió a drenar toda la sustancia inmiscible (hidrolato), para obtener únicamente la sustancia de la parte superior (aceite esencial de cardamomo).

Figura 16. **Ampolla de decantación después del drenado**



Fuente: elaboración propia.

3.7.7. Análisis fisicoquímico

Se realizaron 3 diferentes análisis fisicoquímicos al aceite esencial extraído, estos fueron:

- Densidad
- Índice de refracción
- Cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas

3.7.7.1. Densidad

La densidad de un aceite esencial es un parámetro de fácil obtención que permite la identificación de un aceite esencial auténtico.

Para realizar la medición de dicho parámetro se siguió el siguiente procedimiento:

- Se limpió con etanol al 95 % el picnómetro utilizado
- Se taró el picnómetro vacío para restar esta tara al peso final
- Se procedió a agregar el aceite esencial al aforo indicado en el picnómetro.
- Se pesó el picnómetro conteniendo el aceite esencial y se registró el pesaje, dicho procedimiento se realizó 3 veces por cada extracción. Obteniendo un total de 18 pesajes.

Figura 17. **Peso del picnómetro conteniendo el aceite esencial**



Fuente: elaboración propia.

3.7.7.2. Índice de refracción

Una propiedad de los aceites esenciales es su elevado índice de refracción, para realizar dicho análisis se utilizó un refractómetro siguiendo el siguiente procedimiento:

- Se limpió el prisma del equipo con alcohol al 95 %, teniendo cuidado de no ejercer presión sobre el mismo.
- Se agregaron dos gotas de aceite esencial de cardamomo con la ayuda de una micropipeta.
- Se encendió la lámpara del refractómetro y se ajustó acercándola al prisma para tener el brillo adecuado.
- Se observó por el ocular haciendo girar la perilla de compensación de color hasta observar una línea clara en el campo de visión.
- Se giró la perilla de medición hasta alinearla con la línea delimitadora, hasta dejarla definida al centro, se movió la palanca que se encuentra en la parte inferior izquierda y se leyó el índice de refracción.

3.7.8. Cromatografía de gases acoplado a espectrofotometría de masas

La Cromatografía de Gases acoplada a Espectrofotometría de Masas (GC/MS, por sus siglas en inglés), es una técnica analítica dedicada a la separación, identificación y cuantificación de mezclas de sustancias volátiles y semi-volátiles. Su principal función es la identificación de compuestos no conocidos, a través de compuestos conocidos (solución patrón).

Para llevar a cabo dicho análisis primero se inyecta 0,1 μ L de aceite esencial de cardamomo (analito), en el cromatógrafo de gases acoplado a espectrometría

de masas, posteriormente a eso se empieza a formar una gráfica por cada tiempo de retención de analito.

Cada tiempo de retención representa un pico de la gráfica, el cual indica de la existencia del componente en la muestra, el cual es nombrado posteriormente acorde a la información contenida en la librería del cromatógrafo.

Este análisis se realizó con el fin de identificar la calidad del aceite esencial de cardamomo, porque a través de la GC/MS se logró identificar la existencia de la mezcla de los compuestos volátiles que le proporcionan ese olor y sabor característico del cardamomo, siendo estos, Acetato de α -terpinilo, 1,8-cineol (Eucaliptol).

3.8. Recolección y ordenamiento de la información

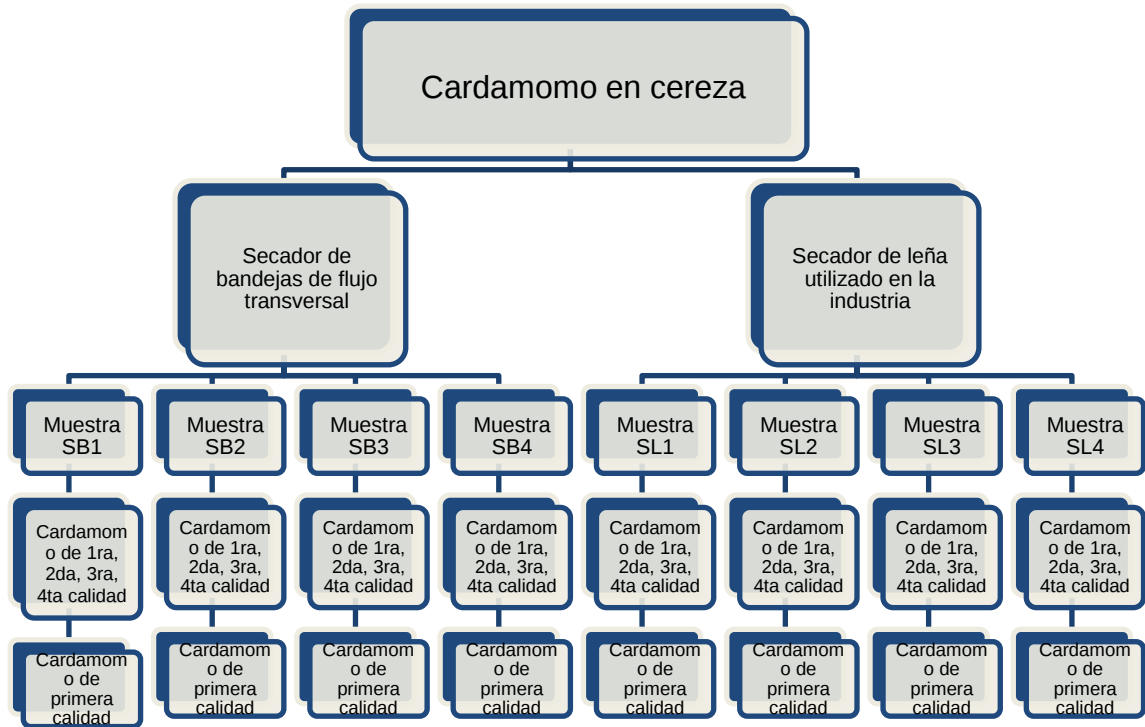
La recolección de datos se realizó según los resultados obtenidos del secado de 4 quintales de cardamomo en cereza; y del secador de leña utilizado en la industria.

Se clasificó el cardamomo seco acorde a su calidad y se procedió a realizar la extracción del aceite esencial de cardamomo de primera calidad para ambos tipos de secado.

Al aceite esencial extraído se le realizó el análisis fisicoquímico definido anteriormente.

A continuación, se presentan ordenadamente todos los datos recolectados en la experimentación descrita con anterioridad siguiendo las matrices guías (gráfico I y gráfico II).

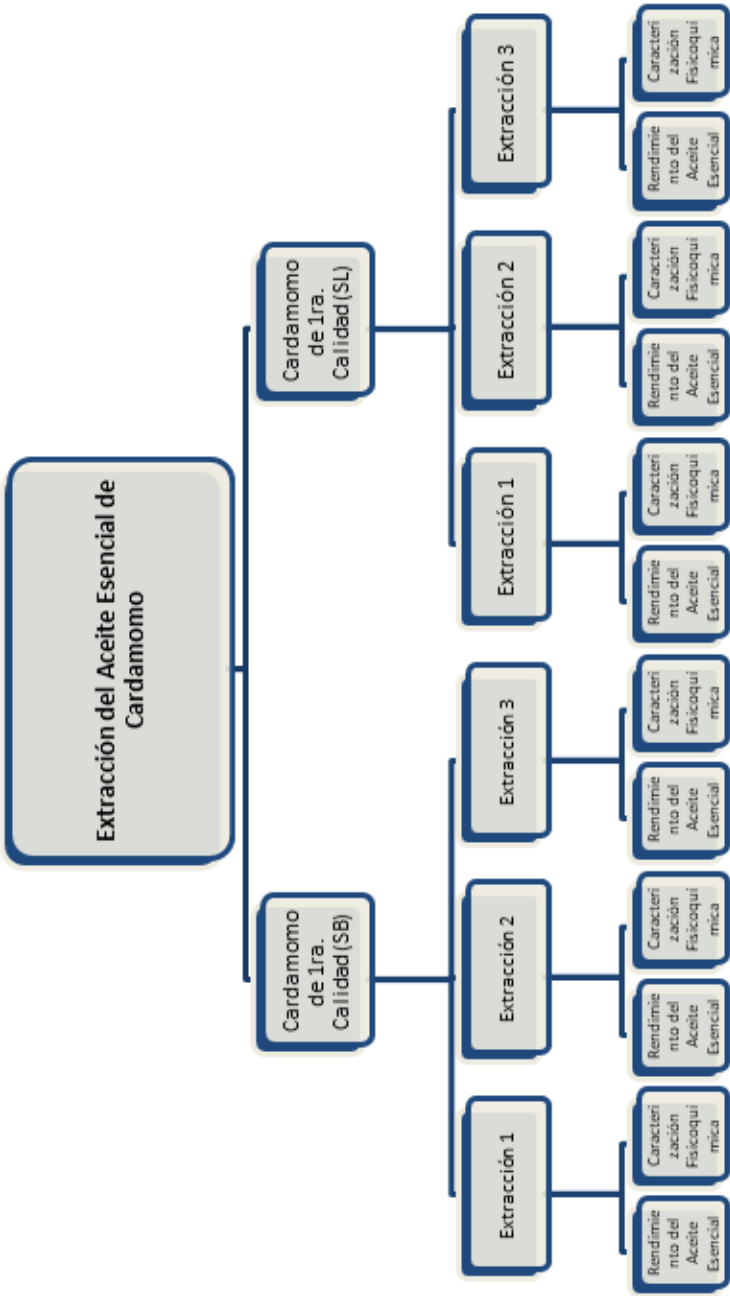
Figura 18. **Recolección y ordenamiento de datos para el secado**



*SB: Secador de Bandejas, **SL: Secador de leña.

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Recolección y ordenamiento de datos para la extracción de aceite esencial**



*SB: Secador de Bandejas, **SL: Secador de leña.

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Resultados del secado de cardamomo utilizando un secador eléctrico de bandejas de flujo transversal. Corrida 1**

Corrida 1: Apertura del dámper al 100 %									
No. de bandeja	Peso de bandeja (Kg)	Peso secado a 0 h (Kg)	Peso secado a 3 h (Kg)	Peso secado a 6 h (Kg)	Peso secado a 9 h (Kg)	Peso secado a 12 h (Kg)	Peso secado a 15 h (Kg)	Peso de cardamomo seco (Kg)	Promedio de peso de cardamomo seco (Kg)
1	5,78	8,05	7,14	6,7	6,5	6,43	6,43	0,65	10,24
2	5,8	8,07	7,09	6,66	6,59	6,47	6,46	0,66	
3	5,74	8,01	7,08	6,55	6,42	6,41	6,41	0,67	
4	5,76	8,03	7,04	6,73	6,65	6,55	6,55	0,79	
5	5,66	7,93	7,02	6,58	6,5	6,41	6,4	0,74	
6	5,75	8,02	7,09	6,53	6,44	6,39	6,39	0,64	
7	5,72	7,99	7	6,52	6,47	6,38	6,38	0,66	
8	5,66	7,93	7,02	6,51	6,45	6,39	6,39	0,73	
9	5,68	7,95	7,04	6,68	6,53	6,4	6,4	0,72	
10	5,72	7,99	7,06	6,63	6,51	6,44	6,44	0,72	
11	5,66	7,93	6,93	6,52	6,43	6,37	6,37	0,71	
12	5,78	8,05	7,12	6,67	6,56	6,47	6,47	0,69	
13	5,74	8,01	7,03	6,74	6,44	6,33	6,33	0,59	
14	5,8	8,07	7,12	6,55	6,49	6,4	6,4	0,6	
15	5,64	7,91	7	6,5	6,41	6,31	6,31	0,67	

Fuente: elaboración propia, con base en datos recolectados en Laboratorio de Extractos Vegetales.

Tabla IV. **Resultados del secado de cardamomo utilizando un secador eléctrico de bandejas de flujo transversal. Corrida 2**

Corrida 2: Apertura de dámper 100 %									
No. de bandeja	Peso de bandeja (Kg)	Peso secado a 0 h (Kg)	Peso secado a 3 h (Kg)	Peso secado a 6 h (Kg)	Peso secado a 9 h (Kg)	Peso secado a 12 h (Kg)	Peso secado a 15 h (Kg)	Peso de cardamomo seco (Kg)	Promedio de peso de cardamomo seco (Kg)
1	5,78	8,82	7,53	6,83	6,6	6,51	6,49	0,71	11,46
2	5,8	8,84	7,3	6,7	6,61	6,57	6,57	0,77	
3	5,74	8,78	7,53	6,76	6,6	6,5	6,5	0,76	
4	5,76	8,8	7,62	6,83	6,77	6,76	6,75	0,99	
5	5,66	8,7	7,59	6,85	6,62	6,47	6,47	0,81	
6	5,75	8,79	7,56	6,82	6,67	6,56	6,55	0,8	
7	5,72	8,76	7,53	6,8	6,61	6,55	6,55	0,83	
8	5,66	8,7	7,52	6,84	6,64	6,51	6,5	0,84	
9	5,68	8,72	7,55	6,77	6,51	6,44	6,44	0,76	
10	5,72	8,76	7,6	6,86	6,63	6,52	6,52	0,8	
11	5,66	8,7	7,56	6,83	6,69	6,49	6,49	0,83	
12	5,78	8,82	7,18	6,71	6,54	6,43	6,4	0,62	
13	5,74	8,78	7,02	6,51	6,43	6,39	6,37	0,63	
14	5,8	8,84	7,54	6,55	6,43	6,37	6,36	0,56	
15	5,64	8,44	6,8	6,57	6,41	6,39	6,39	0,75	

Fuente: elaboración propia, con base en datos recolectados en el Laboratorio de Extractos Vegetales.

Tabla V. **Resultados del secado de cardamomo utilizando un secador eléctrico de bandejas de flujo transversal. Corrida 3**

Corrida 3: Apertura del dámper 100 %									
No. de bandeja	Peso de bandeja (Kg)	Peso secado a 0 h (Kg)	Peso secado a 3 h (Kg)	Peso secado a 6 h (Kg)	Peso secado a 9 h (Kg)	Peso secado a 12 h (Kg)	Peso secado a 15 h (Kg)	Peso de cardamomo seco (Kg)	Promedio de peso de cardamomo seco (Kg)
1	5,78	8,83	8,58	7	6,68	6,6	6,59	0,81	11,91
2	5,8	8,85	8,8	6,93	6,7	6,63	6,63	0,83	
3	5,74	8,79	8,53	6,84	6,65	6,59	6,59	0,85	
4	5,76	8,81	8,56	6,94	6,79	6,63	6,63	0,87	
5	5,66	8,71	8,45	6,85	6,66	6,51	6,5	0,84	
6	5,75	8,8	8,55	6,91	6,83	6,41	6,38	0,63	
7	5,72	8,77	8,52	6,88	6,67	6,55	6,55	0,83	
8	5,66	8,71	8,47	6,88	6,63	6,51	6,51	0,85	
9	5,68	8,73	8,49	6,9	6,76	6,57	6,53	0,85	
10	5,72	8,77	8,51	6,79	6,63	6,5	6,5	0,78	
11	5,66	8,71	8,45	6,82	6,71	6,42	6,4	0,74	
12	5,78	8,83	8,58	6,94	6,78	6,55	6,53	0,75	
13	5,74	8,79	8,54	6,93	6,66	6,6	6,57	0,83	
14	5,8	8,85	8,61	6,87	6,7	6,56	6,55	0,75	
15	5,64	8,3	8,06	6,47	6,39	6,34	6,34	0,7	

Fuente: elaboración propia, con base en datos recolectados en el Laboratorio de Extractos Vegetales.

Tabla VI. **Resultados del secado de cardamomo utilizando un secador eléctrico de bandejas de flujo transversal. Corrida 4**

Corrida 4: Apertura del dámper 100 %									
No. de bandeja	Peso de bandeja (Kg)	Peso secado a 0 h (Kg)	Peso secado a 3 h (Kg)	Peso secado a 6 h (Kg)	Peso secado a 9 h (Kg)	Peso secado a 12 h (Kg)	Peso secado a 15 h (Kg)	Peso de cardamomo seco (Kg)	Promedio de peso de cardamomo seco (Kg)
1	5,78	8,83	7,48	6,8	6,66	6,59	6,59	0,81	11,69
2	5,8	8,85	7,32	6,7	6,62	6,5	6,5	0,7	
3	5,74	8,79	7,54	6,76	6,62	6,53	6,52	0,78	
4	5,76	8,81	7,62	6,9	6,7	6,6	6,6	0,84	
5	5,66	8,71	7,56	6,82	6,62	6,49	6,48	0,82	
6	5,75	8,8	7,56	6,86	6,7	6,51	6,51	0,76	
7	5,72	8,77	7,5	6,82	6,64	6,57	6,55	0,83	
8	5,66	8,71	7,52	6,84	6,64	6,5	6,5	0,84	
9	5,68	8,73	7,54	6,79	6,58	6,46	6,43	0,75	
10	5,72	8,77	7,62	6,86	6,66	6,53	6,53	0,81	
11	5,66	8,71	7,54	6,82	6,66	6,51	6,51	0,85	
12	5,78	8,83	7,44	6,72	6,56	6,49	6,48	0,7	
13	5,74	8,79	7,66	6,68	6,53	6,44	6,44	0,7	
14	5,8	8,85	7,54	6,76	6,62	6,55	6,55	0,75	
15	5,64	8,29	7,14	6,53	6,43	6,39	6,39	0,75	

Fuente: elaboración propia, con base en datos recolectados en el Laboratorio de Extractos Vegetales.

Tabla VII. **Humedad presente en el cardamomo en función del tiempo.**
Corrida 1

Corrida	0 horas	3 horas	6 horas	9 horas	12 horas	15 horas
1,00	80,00 %	39,91 %	20,53 %	11,72 %	8,63 %	8,63 %
	80,00 %	36,83 %	17,89 %	14,80 %	9,52 %	9,07 %
	80,00 %	39,03 %	15,68 %	9,96 %	9,52 %	9,52 %
	80,00 %	36,39 %	22,73 %	19,21 %	14,80 %	14,80 %
	80,00 %	39,91 %	20,53 %	17,00 %	13,04 %	12,60 %
	80,00 %	39,03 %	14,36 %	10,40 %	8,19 %	8,19 %
	80,00 %	36,39 %	15,24 %	13,04 %	9,07 %	9,07 %
	80,00 %	39,91 %	17,44 %	14,80 %	12,16 %	12,16 %
	80,00 %	39,91 %	24,05 %	17,44 %	11,72 %	11,72 %
	80,00 %	39,03 %	20,09 %	14,80 %	11,72 %	11,72 %
	80,00 %	35,95 %	17,89 %	13,92 %	11,28 %	11,28 %
	80,00 %	39,03 %	19,21 %	14,36 %	10,40 %	10,40 %
	80,00 %	36,83 %	24,05 %	10,84 %	5,99 %	5,99 %
	80,00 %	38,15 %	13,04 %	10,40 %	6,43 %	6,43 %
	80,00 %	39,91 %	17,89 %	13,92 %	9,52 %	9,69 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Humedad presente en el cardamomo en función del tiempo.**
Corrida 2

Corrida	0 horas	3 horas	6 horas	9 horas	12 horas	15 horas
2.00	85,00 %	42,57 %	19,54 %	11,97 %	9,01 %	8,36 %
	85,00 %	34,34 %	14,61 %	11,64 %	10,33 %	10,33 %
	85,00 %	43,88 %	18,55 %	13,29 %	10,00 %	10,00 %
	85,00 %	46,18 %	20,20 %	18,22 %	17,89 %	17,57 %
	85,00 %	48,49 %	24,14 %	16,58 %	11,64 %	11,64 %
	85,00 %	44,54 %	20,20 %	15,26 %	11,64 %	11,32 %
	85,00 %	44,54 %	20,53 %	14,28 %	12,30 %	12,30 %
	85,00 %	46,18 %	23,82 %	17,24 %	12,96 %	12,63 %
	85,00 %	46,51 %	20,86 %	12,30 %	10,00 %	10,00 %
	85,00 %	46,84 %	22,50 %	14,93 %	11,32 %	11,32 %
	85,00 %	47,50 %	23,49 %	18,88 %	12,30 %	12,30 %
	85,00 %	31,05 %	15,59 %	10,00 %	6,38 %	5,39 %
	85,00 %	27,11 %	10,33 %	7,70 %	6,38 %	5,72 %
	85,00 %	42,24 %	9,67 %	5,72 %	3,75 %	3,42 %
	85,00 %	26,44 %	18,23 %	12,51 %	11,80 %	11,80 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Humedad presente en el cardamomo en función del tiempo.**

Corrida 3

Corrida	0 horas	3 horas	6 horas	9 horas	12 horas	15 horas
3.00	83,00 %	74,80 %	23,00 %	12,51 %	9,89 %	9,56 %
	83,00 %	81,36 %	20,05 %	12,51 %	10,21 %	10,21 %
	83,00 %	74,48 %	19,07 %	12,84 %	10,87 %	10,87 %
	83,00 %	74,80 %	21,69 %	16,77 %	11,52 %	11,52 %
	83,00 %	74,48 %	22,02 %	15,79 %	10,87 %	10,54 %
	83,00 %	74,80 %	21,03 %	18,41 %	4,64 %	3,66 %
	83,00 %	74,80 %	21,03 %	14,15 %	10,21 %	10,21 %
	83,00 %	75,13 %	23,00 %	14,80 %	10,87 %	10,87 %
	83,00 %	75,13 %	23,00 %	18,41 %	12,18 %	11,00 %
	83,00 %	74,48 %	18,08 %	12,84 %	8,57 %	8,57 %
	83,00 %	74,48 %	21,03 %	17,43 %	7,92 %	7,26 %
	83,00 %	74,80 %	21,03 %	15,79 %	8,25 %	7,59 %
	83,00 %	74,80 %	22,02 %	13,16 %	11,20 %	10,21 %
	83,00 %	75,13 %	18,08 %	12,51 %	7,92 %	7,59 %
	83,00 %	74,00 %	14,21 %	11,20 %	9,32 %	9,32 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Humedad presente en el cardamomo en función del tiempo.**

Corrida 4

Corrida	0 horas	3 horas	6 horas	9 horas	12 horas	15 horas
4.00	85,00 %	40,74 %	18,44 %	13,85 %	11,56 %	11,56 %
	85,00 %	34,84 %	14,51 %	11,89 %	7,95 %	7,95 %
	85,00 %	44,02 %	18,44 %	13,85 %	10,90 %	10,57 %
	85,00 %	45,98 %	22,38 %	15,82 %	12,54 %	12,54 %
	85,00 %	47,30 %	23,03 %	16,48 %	12,21 %	11,89 %
	85,00 %	44,34 %	21,39 %	16,15 %	9,92 %	9,92 %
	85,00 %	43,36 %	21,07 %	15,16 %	12,87 %	12,21 %
	85,00 %	45,98 %	23,69 %	17,13 %	12,54 %	12,54 %
	85,00 %	45,98 %	21,39 %	14,51 %	10,57 %	9,59 %
	85,00 %	47,30 %	22,38 %	15,82 %	11,56 %	11,56 %
	85,00 %	46,64 %	23,03 %	17,79 %	12,87 %	12,87 %
	85,00 %	39,43 %	15,82 %	10,57 %	8,28 %	7,95 %
	85,00 %	47,95 %	15,82 %	10,90 %	7,95 %	7,95 %
	85,00 %	42,05 %	16,48 %	11,89 %	9,59 %	9,69 %
	85,00 %	41,60 %	18,58 %	14,81 %	13,30 %	13,30 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Volumen de aceite esencial extraído por arrastre de vapor a escala planta piloto (secado con el secador de bandejas)**

Secado Liexve		
Corrida	Masa cardamomo (Kg)	Volumen (mL)
1	2,5	48
2	2,5	68
3	2,5	50,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Volumen de aceite esencial extraído por arrastre de vapor a escala planta piloto (secado con el secador de leña utilizado en la industria)**

Secado industrial		
Corrida	Masa cardamomo (Kg)	Volumen (mL)
1	2,5	10
2	2,5	32
3	2,5	19

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Rendimiento del aceite esencial de cardamomo (secador de bandejas eléctrico de flujo transversal)**

Secado de bandejas			
Corrida	Masa cardamomo (g)	Masa de aceite (g)	% De rendimiento
1	2 500	40,33	1,61 %
2	2 500	61,42	2,46 %
3	2 500	44,94	1,80 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Rendimiento del aceite esencial de cardamomo (secador de la industria)**

Secado industrial			
Corrida	Masa cardamomo (g)	Masa de aceite (g)	% De Rendimiento
1	2 500	9,06	0,36 %
2	2 500	29,01	1,16 %
3	2 500	18,81	0,75 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Densidad del aceite esencial de cardamomo extraído (secado con secador bandejas de flujo transversal)**

Tipo de secado	Corrida	Densidad (g/ml)
Secador eléctrico de bandejas de flujo transversal	1	0,90945034
		0,90945034
		0,91909354
	2	0,91108968
		0,90376085
		0,9123433
	3	0,90732883
		0,90665381
		0,90540019

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Densidad del aceite esencial de cardamomo extraído
(secado con secador de leña de la industria)**

Tipo de secado	Corrida	Densidad (g/ml)
Secador industrial de leña	1	0,93384764
		0,92912247
		0,92796528
	2	0,92266152
		0,92025072
		0,92642237
	3	0,93269045
		0,92806172
		0,92999036

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Índice de refracción del aceite esencial de cardamomo extraído (secado con secador eléctrico de bandejas de flujo transversal)**

Tipo de secado	Corrida	Índice de refracción
Secador eléctrico de bandejas de flujo transversal	1	1,461
		1,4615
		1,461
	2	1,462
		1,462
		1,462
	3	1,461
		1,461
		1,461

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Índice de refracción del aceite esencial de cardamomo extraído (secado con secador de leña utilizado en la industria)**

Tipo de Secado	Corrida	Índice de Refracción
Secador industrial de leña	1	1,464
		1,464
		1,464
	2	1,463
		1,4635
		1,4635
	3	1,4645
		1,4645
		1,4645

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Corrida 1: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 1,61 % (secado con secador eléctrico de bandejas de flujo transversal)**

No.	Retención (min)	Porcentaje de área (%)	Componente químico	No. De CAS
1	4,785	28,81	Eucaliptol	470-82-6
2	9,722	26,793	Acetato de α -terpinilo	80-26-2
3	3,755	4,504	β -Felandreno	555-10-2
4	8,072	4,097	(+)-3-Careno	498-15-7
5	3,195	2,778	α -Pineno	80-56-8
6	5,771	2,474	Linalool	78-70-6
7	12,468	2,344	Nerolidol	7212-44-4
8	3,945	2,165	β -Pineno	127-91-3
9	1,269	1,496	Triclorometano	67-66-3
10	8,172	1,408	Geraniol	106-24-1

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. Corrida 2: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 2,46 % (secado con secador eléctrico de bandejas de flujo transversal)

No.	Retención (min)	Porcentaje de área (%)	Componente químico	No. CAS
1	9,717	27,721	Acetato de α -terpinilo	80-26-2
2	4,795	26,884	Eucaliptol	470-82-6
3	3,765	4,408	β -Felandreno	555-10-2
4	8,067	4,172	Acetato linalilo	115-95-7
5	3,2	3,041	Pineno	7785-70-8
6	5,776	2,548	Linalool	78-70-6
7	3,955	2,341	(1S)-(-)- β -Pinene	18172-67-3
8	12,448	2,195	Trans-Nerolidol	7212-44-4
9	9,012	2,182	ψ -Limoneno	499-97-8
10	1,274	1,881	Triclorometano	67-66-3

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. Corrida 3: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 1,80 % (secado con secador eléctrico de bandejas de flujo transversal)

No.	Retención (min)	Porcentaje de área (%)	Componente químico	No. CAS
1	4,795	30,662	Eucaliptol	470-82-6
2	9,727	26,93	Acetato de α -terpinilo	80-26-2
3	3,765	4,505	β -Felandreno	555-10-2
4	3,205	2,811	3-Careno	13466-78-9
5	3,205	2,811	Cyclofenchene	488-97-1
6	5,776	2,579	Linalool	78-70-6
7	12,458	2,396	Nerolidol	7212-44-4
8	3,95	2,098	(1S)-(-)- β -Pinene	18172-67-3
9	8,177	1,513	Citrol	624-15-7
10	7,286	1,366	α -Terpineol	98-55-5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Corrida 1: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 0,36 % (secado con secador de leña industria)**

No.	Retención (min)	Porcentaje de área (%)	Componente químico	No. CAS
33	14,932	34,316	Acetato de α -terpinilo	80-26-2
8	8,237	11,103	Eucaliptol	470-82-6
25	12,889	9,281	Z-4-Dodecenol	40642-37-3
15	9,883	6,364	Neodihydrocarveol	18675-33-7
55	18,342	5,377	Bicyclo[5.2.0]non-1-ene	65811-17-8
28	13,185	2,825	1,4-Pentadieno	591-93-5
21	11,797	2,652	α -Terpineol	98-55-5
35	15,311	2,488	2-Naftalenol, decahidro-, (2R,4aS,8aS)-rel-	5779-35-1
19	11,455	1,669	(-)-terpinen-4-ol	20126-76-5
47	17,15	1,454	β -Selineno	17066-67-0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Corrida 2: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 1,16 % (secado con secador de leña industria)**

No.	Retención (min)	Porcentaje de área (%)	Componente químico	No. CAS
1	9,736	35,4	Acetato de α -terpinilo	80-26-2
2	4,744	22,067	Eucaliptol	470-82-6
3	8,06	5,428	β -Pineno	127-91-3
4	5,774	4,972	(1S)-(-)- β -Pineno	18172-67-3
5	12,482	4,676	β -Bisabolenol	495-61-4
6	8,18	2,552	β -Mirceno	123-35-3
7	3,734	2,31	γ -Terpineno	99-85-4
8	7,295	1,872	α -Terpineol	98-55-5
9	9,956	1,26	β -Mirceno	123-35-3
10	3,934	1,188	β -Mirceno	123-35-3

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Corrida 3: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 0,75 % (secado con secador de leña industria)**

No.	Retención (min)	Porcentaje de Área (%)	Componente Químico	No. CAS
1	9,767	39,053	Acetato de α -terpinilo	80-26-2
2	4,705	13,131	Eucaliptol	470-82-6
3	8,072	5,438	(1S)-(-)- β -Pino	18172-67-3
4	12,488	4,763	Cariofileno	13877-93-5
5	5,766	3,876	Linalool	78-70-6
6	8,162	2,37	Geraniol	624-15-7
7	18,911	2,169	Ácido Linoleico / Omega 3	60-33-3
8	17,33	2,012	Ácido Hexadecanoico	57-10-3
9	18,711	1,868	9-cis-acido retinoico	5300-03-08
10	7,286	1,46	α -Terpineol	98-55-5

Fuente: elaboración propia.

3.9. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

Tabla XXV. **Rendimiento del secado de cardamomo**

Corrida	Peso cardamomo Pergamino (Kg)
1,00	10,24
2,00	11,46
3,00	11,91
4,00	11,69
Total	45,32
Rendimiento del secado de cardamomo	
Quintales recuperados	0,999
Rendimiento	4,003:1

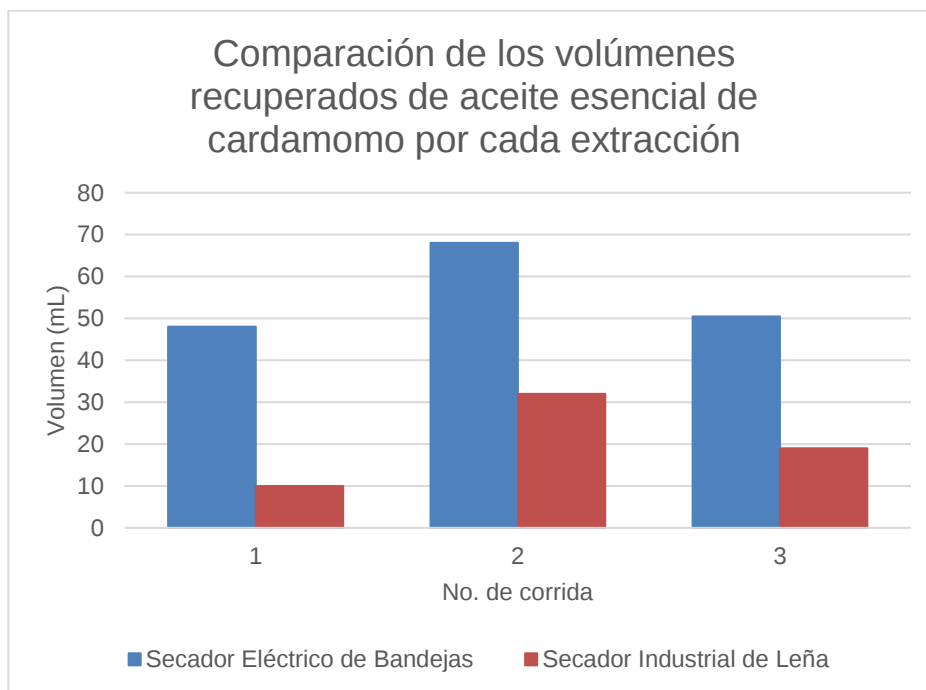
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Humedad presente en el cardamomo en función del tiempo**

Corrida	Porcentaje de humedad final
1	10,09 %
2	10,27 %
3	9,27 %
4	10,81 %

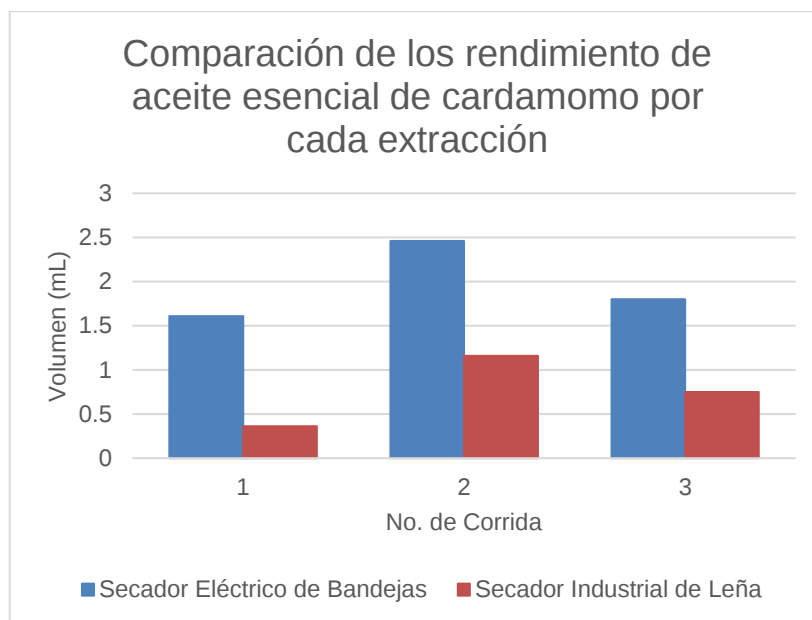
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Comparación de volúmenes recuperados utilizando el secador de bandejas de flujo transversal y el secador de industrial de leña**



Fuente: elaboración propia, con base en las tablas XI y XII.

Figura 21. **Comparación de los rendimientos de aceite esencial de cardamomo, utilizando el secador de bandejas de flujo transversal y el secador de industrial de leña**



Fuente: elaboración propia, con base en las tablas XIII y XIV.

Tabla XXVII. **Promedio de la densidad del aceite esencial de cardamomo extraído (secado con el secador bandejas de flujo transversal)**

Tipo de secado	Corrida	Promedio densidad (g/ml)	Desviación estándar
Secador eléctrico de bandejas de flujo transversal	1	0,9127	0,00312
	2	0,9091	
	3	0,9065	

Fuente: elaboración propia

Tabla XXVIII. **Densidad del aceite esencial de cardamomo extraído
(secado con secador de leña de la industria)**

Tipo de Secado	Corrida	Promedio densidad (g/ml)	Desviación estándar
Secador Industrial de leña	1	0,9303	0,00414
	2	0,9231	
	3	0,9302	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Promedio del índice de refracción del aceite esencial de
cardamomo extraído (secado con secador eléctrico de
bandejas de flujo transversal)**

Tipo de Secado	Corrida	Promedio Índice de refracción	Desviación estándar
Secador eléctrico de bandejas de flujo transversal	1	1,4612	0,0005358
	2	1,462	
	3	1,461	

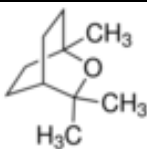
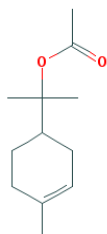
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Promedio del índice de refracción del aceite esencial de cardamomo extraído (secado con secador de leña utilizado en la industria)**

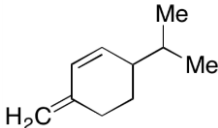
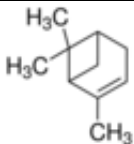
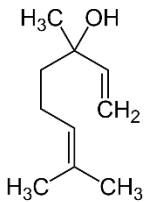
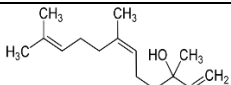
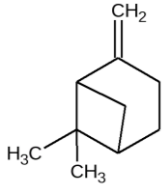
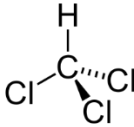
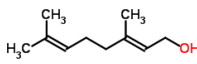
Tipo de secado	Corrida	Promedio Índice de refracción	Desviación estándar
Secador industrial de leña	1	1,464	0,0005853
	2	1,4633	
	3	1,4645	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Corrida 1: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 1,61 % (secado con secador eléctrico de bandejas de flujo transversal)**

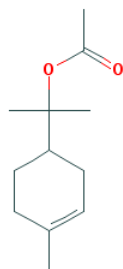
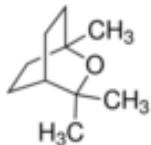
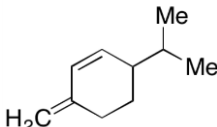
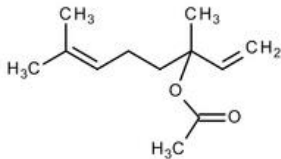
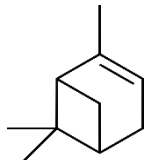
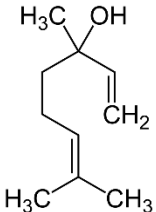
No.	Porcentaje de área (%)	Componente químico	Familia	Estructura
1	28,81	Eucaliptol	Terpeno	
2	26,793	Acetato de α -terpinilo	Monoterpenos	

Continuación de la tabla XXXI.

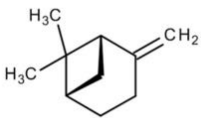
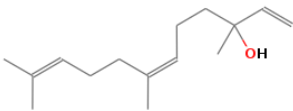
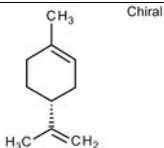
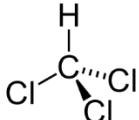
3	4,504	β -Felandreno	Monoterpenos	
4	4,097	(+)-3-Careno	Monoterpenos	
5	2,778	α -Pino	Terpeno	
6	2,474	Linalool	Terpeno	
7	2,344	Nerolidol	Sesquiterpeno	
8	2,165	β -Pino	Monoterpeno	
9	1,496	Triclorometano	Anestésico	
10	1,408	Geraniol	Monoterpenoide/alcohol	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Corrida 2: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 2,46 % (secado con secador eléctrico de bandejas de flujo transversal)**

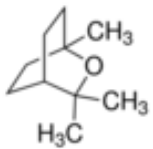
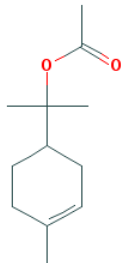
No.	Porcentaje de área (%)	Componente químico	Familia	Estructura
1	27,721	Acetato de α -terpinilo	Monoterpenos	
2	26,884	Eucaliptol	Terpeno	
3	4,408	β -Felandreno	Monoterpenos	
4	4,172	Acetato linalilo	Ésteres del monoterpene	
5	3,041	Pineno	Monoterpeno	
6	2,548	Linalool	Terpeno	

Continuación de la tabla XXXII.

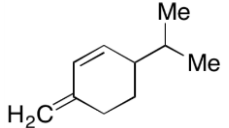
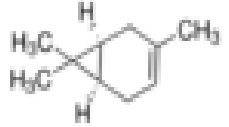
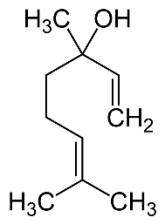
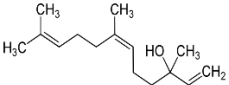
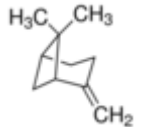
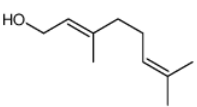
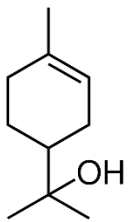
7	2,341	(1S)-(-)- β -Pinene	Monoterpeno	
8	2,195	Trans-Nerolidol	Sesquiterpeno	
9	2,182	ψ -Limoneno	Terpenos	
10	1,881	Triclorometano	Anestésico	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Corrida 3: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 1,80 % (secado con secador eléctrico de bandejas de flujo transversal)**

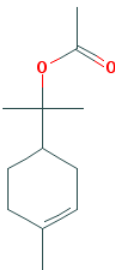
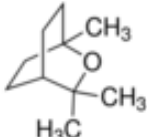
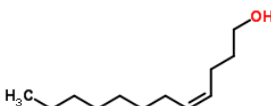
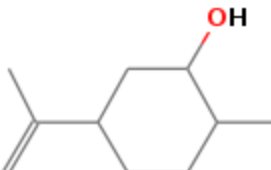
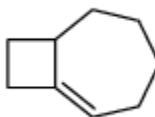
No.	Porcentaje de Área (%)	Componente Químico	Familia	Estructura
1	30,662	Eucaliptol	Terpeno	
2	26,93	Acetato de α -terpinilo	Monoterpenos	

Continuación de la tabla XXXIII.

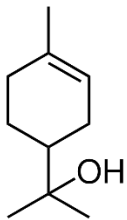
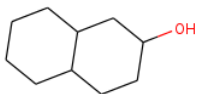
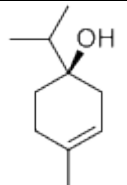
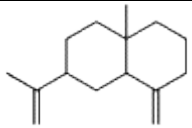
3	4,505	β -Felandreno	Monoterpenos	
4	2,811	3-Careno	Monoterpenos	
5	2,811	Cyclofenchene	Terpenoide	
6	2,579	Linalool	Terpeno	
7	2,396	Nerolidol	Sesquiterpeno	
8	2,098	(1S)-(-)- β -Pinene	Monoterpeno	
9	1,513	Citrol	Terpeno	
10	1,366	α -Terpineol	Monoterpeno de Alcohol	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Corrida 1: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 0,36 % (secado con secador de leña industria)**

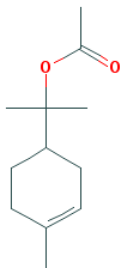
No.	Porcentaje de área (%)	Componente químico	Familia	Estructura
1	34,316	Acetato de α -terpinilo	Monoterpenos	
2	11,103	Eucaliptol	Terpenos	
3	9,281	Z-4-Dodecenol	Feromona de Insecto	
4	6,364	Neodihydrocarveol	18675-33-7	
5	5,377	Bicyclo[5.2.0]non-1-ene	Alqueno	
6	2,825	1,4-Pentadieno	Alqueno	

Continuación de la tabla XXXIV.

7	2,652	α -Terpineol	Monoterpeno de Alcohol	
8	2,488	2-Naftalenol, decahidro-, (2R,4aS,8aS)-rel-	Fenoles	
9	1,669	(-)-terpinen-4-ol	Terpeno	
10	1,454	β -Selineno	Sesquiterpeno	

Fuente: elaboración propia.

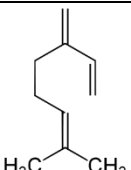
Tabla XXXV. **Corrida 2: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 1,16 % (secado con secador de leña industrial)**

No.	Porcentaje de área (%)	Componente químico	Familia	Estructura
1	35,4	Acetato de α -terpinilo	Monoterpenos	

Continuación de la tabla XXXV.

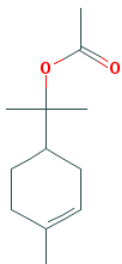
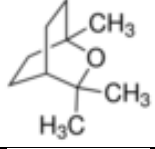
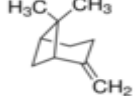
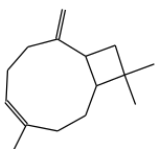
2	22,067	Eucaliptol	Terpenos	
3	5,428	β -Pineno	127-91-3	
4	4,972	(1S)-(-)- β -Pineno	Monoterpeno	
5	4,676	β -Bisaboleno	Sesquiterpenos	
6	2,552	β -Mirceno	Monoterpenos	
7	2,31	γ -Terpineno	Terpenos	
8	1,872	α -Terpineol	Monoterpeno de alcohol	
9	1,26	β -Mirceno	Monoterpenos	

Continuación de la tabla XXXV.

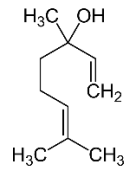
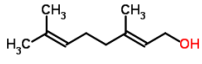
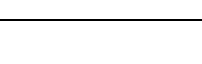
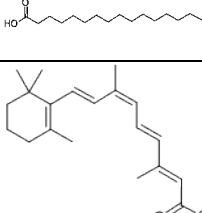
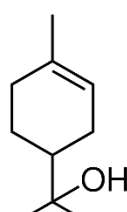
10	1,188	β -Mirceno	Monoterpenos	
----	-------	------------------	--------------	---

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Corrida 3: composición química para el aceite esencial de cardamomo, rendimiento 0,75 % (secado con secador de leña industria)**

No.	Porcentaje de área (%)	Componente químico	Familia	Estructura
1	39,053	Acetato de α -terpinilo	Monoterpenos	
2	13,131	Eucaliptol	Terpenos	
3	5,438	(1S)-(-)- β -Pineno	Monoterpenos	
4	4,763	Cariofileno	Sesquiterpeno Cíclico	

Continuación de la tabla XXXVI.

5	3,876	Linalool	Terpeno	
6	2,37	Geraniol	Monoterpenoid e/alcohol	
7	2,169	Ácido Linoleico / Omega 3	Ácido Graso	
8	2,012	Ácido hexadecanoico	Ácido Graso Saturado	
9	1,868	9-cis-ácido retinoico	Ácido Graso Polinsaturado	
10	1,46	α -Terpineol	Monoterpeno de Alcohol	

Fuente: elaboración propia.

3.10. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se tomaron los siguientes métodos.

3.10.1. Factores

El estudio por realizar presenta dos factores: El tipo de secado que se utilizado x_1 y la calidad de cardamomo x_2 . El tipo de secado consta de dos

niveles: secador eléctrico de bandejas con flujo transversal y secador de leña utilizado en la industria. La calidad de cardamomo presenta un nivel y la variable respuesta consiste en el rendimiento del aceite esencial de cardamomo (*elettaria cardamomum*, L. Matton), de primera obtenido por arrastre de vapor a nivel planta piloto.

3.10.2. Diseño de tratamientos

Se secaron 4 quintales de cardamomo en cereza para obtener 1 quintal de cardamomo pergamino, dicho quintal se clasificó por color para obtener cardamomo de primera calidad; también se trabajaron 7,5 Kg de cardamomo pergamino de primera calidad, secado en la industria. Para la extracción se tomaron en cuenta 3 variables, porcentaje de humedad del cardamomo, tiempo de extracción y volumen de aceite obtenido. Al aceite esencial obtenido se le realizaron 3 pruebas fisicoquímicas, densidad, índice de refracción y cromatografía de gases.

El análisis estadístico que se empleó es el de varianza. El cual se complementó al utilizar la prueba de Fisher de comparaciones múltiples; para determinar entre cuáles tratamientos existe diferencia de medias. Con base a este análisis se obtuvieron resultados fidedignos.

3.10.3. Análisis de varianza (ANOVA)

Esta técnica estadística consiste en que cada nivel de un factor se combina con cada uno de los niveles de los otros factores evaluados, para formar los tratamientos. Este tipo de diseño permite evaluar los efectos de las interacciones llevadas a cabo.

Determinación de la suma de cuadrados:

$$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n X^2_{ijk} - T^2 \dots / abn \quad SSA = \frac{\sum_{i=1}^a T^2_{i \dots}}{bn} - \frac{T^2 \dots}{abn}$$

$$SSB = \frac{\sum_{j=1}^b T^2 \cdot j}{an} - \frac{T^2 \dots}{abn} \quad SSE = SST - SSA - SSB - SS(AB)$$

$$SS(AB) = \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b T^2_{ij}}{n} - \frac{\sum_{i=1}^a T^2_{i \dots}}{bn} - \frac{\sum_{j=1}^b T^2 \cdot j}{an} + \frac{T^2 \dots}{abn}$$

Se utilizaron dos tipos de mediciones de ANOVA, debido al tipo de experimentación. Para la evaluación del rendimiento del aceite esencial se utilizó un análisis de varianza de un factor y para la densidad e índice de refracción se utilizó un análisis de varianza de dos factores.

Tabla XXXVII. **Varianza de un experimento de dos factores**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	f calculada
Efecto principal				
A	SSA	a-1	$S^2_1 = SSA / a-1$	$f_1 = s_{21} / S_2$
B	SSA	b-1	$S^2_2 = SSB / b-1$	$f_2 = s_{22} / S_2$
Interacción de dos factores				
AB	SS(AB)	(a-1)(b-1)	$S^2_3 = SS(AB) / (a-1)(b-1)$	$f_3 = s_{23} / S_2$
Error	SSE	ab(n-1)	$S^2 = SSE / ab \ n-1$	
Total	SST	abn-1		

Fuente: WALPOLE, Raymond. *Probabilidad y estadística*. p. 12.

Según los resultados del análisis de varianza (ANOVA), para evaluar el rechazo o aceptación de las hipótesis estadísticas planteadas, se empleará la prueba de Fisher con un nivel de confianza del 95 por ciento.

Los criterios utilizados fueron los siguientes:

- Siendo $F_p > F_c$, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Tabla XXXVIII. **Resumen de los métodos y modelos a utilizar según el tipo de variable**

SECADO
Tiempo de secado (h)
Humedad de entrada (Kg)
Humedad de salida (Kg)
Masa de cardamomo pergamino (Kg)
EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE CARDAMOMO
Tiempo de extracción (h)
Volumen de aceite esencial obtenido SB (mL)
Volumen de aceite esencial obtenido SL (mL)
Índice de refracción SB
Índice de refracción SL
Rendimiento del aceite esencial de cardamomo SB
Rendimiento del aceite esencial de cardamomo SL
SB: Secador eléctrico de bandejas de flujo transversal. SL: Secador de leña utilizado en la industria.

Fuente: elaboración propia.

3.10.3.1. Análisis de varianza para el rendimiento del aceite esencial de cardamomo

Se realizó un análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo, para evaluar la influencia del tipo de secado en función del rendimiento del aceite esencial de cardamomo, obteniendo los siguientes resultados

Tabla XXXIX. **Experimento de factores para el rendimiento del aceite esencial según el tipo de secado**

Factor A/Factor B	Factor B: Rendimiento del aceite esencial por corrida			Promedio
Factor A: Tipo de secado	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	
Secador de bandejas	1,61 %	2,46 %	1,80 %	1,96 %
Secador de leña	0,36 %	1,16 %	0,75 %	0,76 %

Fuente: elaboración propia.

3.10.3.2. Análisis de varianza para la densidad del aceite esencial de cardamomo

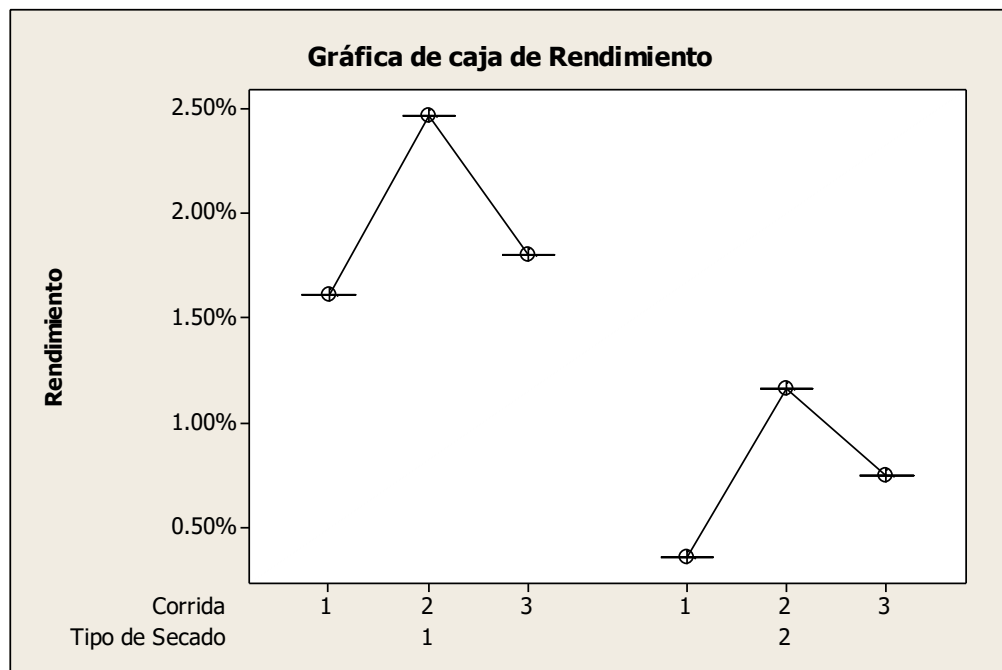
Se realizó un análisis de varianza de dos factores con una muestra por grupo en función del rendimiento del aceite esencial de cardamomo, así mismo, se realizó el análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo en función del tipo de secado.

Tabla XL. **Análisis de varianza del rendimiento del aceite esencial, según el tipo de secado**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tipo de secado	0,000216	1	0,000216	246,8571	0,0040	18,51282
No. de corridas	7,0063E-05	2	3,5032E-05	40,0362	0,0244	19
Error	1,75E-06	2	8,75E-07			
Total	0,00028781	5				

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Gráfico de cajas del rendimiento del aceite esencial de cardamomo en función del tipo de secado**



Fuente: elaboración propia, empleando Matlab.

Tabla XLI. **Experimento de dos factores para la densidad del aceite esencial de cardamomo en función del rendimiento (secador de bandejas)**

Factor A	Factor B	Promedio
Rendimiento	Densidad g/mL (secador de bandejas)	
1,61 %	0,9095	0,9127
	0,9095	
	0,9191	
2,46 %	0,9111	0,9091
	0,9038	
	0,9123	
1,80 %	0,9073	0,9065
	0,9067	
	0,9054	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. **Análisis de la varianza para la densidad del aceite esencial de cardamomo en función del rendimiento (secador de bandejas)**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Rendimiento del aceite esencial	5,8227E-05	2	2,9114E-05	1,9795	0,2526	6,9443
Corridas	4,806E-05	2	2,403E-05	1,6338	0,3029	6,9443
Error	5,883E-05	4	1,4708E-05			
Total	0,00016512	8				

Fuente: elaboración propia

Tabla XLIII. **Experimento de dos factores para la densidad del aceite esencial de cardamomo en función del rendimiento (secador de leña)**

Factor A	Factor B	Promedio
Rendimiento	Densidad g/mL (secador de leña)	
0,36%	0,9338	0,9303
	0,9291	
	0,9280	
1,16%	0,9227	0,9231
	0,9203	
	0,9264	
0,75%	0,9327	0,9302
	0,9281	
	0,9300	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. **Análisis de la varianza para la densidad del aceite esencial de cardamomo en función del rendimiento (secador de leña)**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Rendimiento del aceite esencial	0,00010277	2	5,1385E-05	7,82564649	0,04143217	6,94427191
Densidad	2,3318E-05	2	1,1659E-05	1,77560559	0,28059941	6,94427191
Error	2,6265E-05	4	6,5662E-06			
Total	0,00015235	8				

Fuente: elaboración propia

Tabla XLV. **Experimento de dos factores para la densidad del aceite esencial de cardamomo en función del tipo de secado**

Factor A	Factor B		
Tipo de secado	Densidad (g/mL) 1	Densidad (g/mL) 2	Densidad (g/mL) 3
Secador de bandejas	0,9095	0,9111	0,9073
	0,9095	0,9038	0,9067
	0,9191	0,9123	0,9054
Secador de leña	0,9338	0,9227	0,9327
	0,9291	0,9203	0,9281
	0,9280	0,9264	0,9300

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVI. **Análisis de la varianza con varias muestras por grupo para la densidad del aceite esencial de cardamomo en función del tipo de secado**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tipo de secado	0,00153905	1	0,00153905	118,0300	1,4523E-07	4,7472
Densidad	8,824E-05	2	4,412E-05	3,3836	0,0683	3,8853
Interacción	7,2758E-05	2	3,6379E-05	2,7899	0,1012	3,8853
Dentro del grupo	0,00015647	12	1,3039E-05			
Total	0,00185652	17				

Fuente: elaboración propia.

3.10.3.3. Análisis de varianza para el índice de refracción del aceite esencial de cardamomo

Se realizó un análisis de varianza de dos factores con una muestra por grupo en función del rendimiento del aceite esencial de cardamomo, así mismo,

se realizó el análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo em función del tipo de secado

Tabla XLVII. Experimento de dos factores para el índice de refracción del aceite esencial de cardamomo en función del rendimiento (secador de bandejas)

Factor A	Factor B	Promedio índice de refracción
Rendimiento del aceite esencial	Índice de refracción	
1,61 %	1,4610	1,4612
	1,4615	
	1,4610	
2,46 %	1,4620	1,4620
	1,4620	
	1,4620	
1,80 %	1,4610	1,4610
	1,4610	
	1,4610	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVIII. Análisis de la varianza de dos factores con una muestra por grupo para el índice de refracción del aceite esencial de cardamomo en función del rendimiento (secador de bandejas)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Rendimiento	1,7222E-06	2	8,6111E-07	31	0,0037	6,9443
Índice de refracción	5,5556E-08	2	2,7778E-08	1	0,4444	6,9443
Error	1,1111E-07	4	2,7778E-08			
Total	1,8889E-06	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIX. **Experimento de dos factores para el índice de refracción del aceite esencial de cardamomo en función del rendimiento para el secador de leña**

Factor A	Factor B	Promedio índice de refracción
Rendimiento del aceite esencial	Índice de refracción	
0,36 %	1,4640	1,4640
	1,4640	
	1,4640	
1,16 %	1,4630	1,4633
	1,4635	
	1,4635	
0,75 %	1,4645	1,4645
	1,4645	
	1,4645	

Fuente: elaboración propia.

Tabla L. **Análisis de la varianza de dos factores con una muestra por grupo para el índice de refracción del aceite esencial de cardamomo en función del rendimiento (secador de leña)**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Rendimiento	2,0556E-06	2	1,0278E-06	37	0,0026	6,9443
Índice de refracción	5,5556E-08	2	2,7778E-08	1	0,4444	6,9443
Error	1,1111E-07	4	2,7778E-08			
Total	2,2222E-06	8				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LI. **Experimento de dos factores con varias muestras por grupo para el índice de refracción del aceite esencial de cardamomo en función del tipo de secado**

Factor A	Factor B		
Tipo de secado	Índice de Refracción 1	Índice de Refracción 2	Índice de Refracción 3
Secador de bandejas	1.4610	1.4620	1.4610
	1.4615	1.4620	1.4610
	1.4610	1.4620	1.4610
Secador de leña	1.4640	1.4630	1.4645
	1.4640	1.4635	1.4645
	1.4640	1.4635	1.4645

Fuente: elaboración propia.

Tabla LII. **Análisis de la varianza de dos factores con una muestra por grupo para el índice de refracción del aceite esencial de cardamomo en función del rendimiento (secador de leña)**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tipo de secado	2,9389E-05	1	2,9389E-05	1058	4,5102E-13	4,7472
Índice de refracción	8,3333E-08	2	4,1667E-08	1,5	0,2621	3,8853
Interacción	3,6944E-06	2	1,8472E-06	66,5	3,2128E-07	3,8853
Dentro del grupo	3,3333E-07	12	2,7778E-08			
Total	3,35E-05	17				

Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS

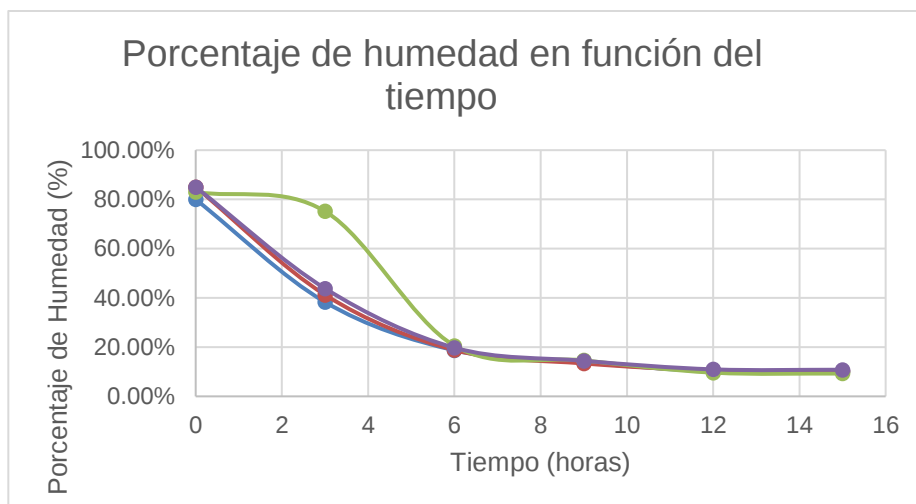
Se presentan los resultados obtenidos del secado del cardamomo utilizando el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal, y el rendimiento del aceite esencial de cardamomo en función del tipo de secado, y su caracterización fisicoquímica, que se basó en la densidad, índice de refracción y cromatografía de gases, este último con el fin de demostrar los compuestos más representativos del aceite esencial de cardamomo.

Tabla LIII. **Comportamiento del porcentaje de humedad del cardamomo en función del tiempo, para 4 quintales de cardamomo cereza**

Corrida	Humedad T=0h	Humedad T=3h	Humedad T=6h	Humedad T=9h	Humedad T=12h	Humedad T=15h
1,00	80,00 %	38,31 %	18,71 %	13,77 %	10,13 %	10,09 %
2,00	85,00 %	41,23 %	18,82 %	13,37 %	10,51 %	10,27 %
3,00	83,00 %	75,17 %	20,56 %	14,61 %	9,63 %	9,27 %
4,00	85,00 %	43,83 %	19,76 %	14,44 %	10,97 %	10,81 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Gráfico del comportamiento del porcentaje de humedad del cardamomo cereza en función del tiempo**



Fuente: elaboración propia.

Tabla LIV. **Modelos matemáticos y coeficientes de correlación del porcentaje de humedad del cardamomo cereza en función del tiempo**

Corrida	Modelos matemáticos	R ²	Color
1	$H=0,0054t^2-0,1228t+0,7606$	0,98	Blue
2	$H=0,0059t^2-0,1329t+0,8114$	0,98	Red
3	$H=0,0057t^2-0,1308t+0,8183$	0,98	Purple
4	$H=0,0047t^2-0,1246t+0,9021$	0,91	Green

Fuente: elaboración propia.

Tabla LV. **Rendimiento del aceite esencial de cardamomo de primera calidad, utilizando el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal, para el secado del cardamomo cereza**

Corrida	Rendimiento (%)
1	1,61±0,004
2	2,46±0,004
3	1,80±0,004

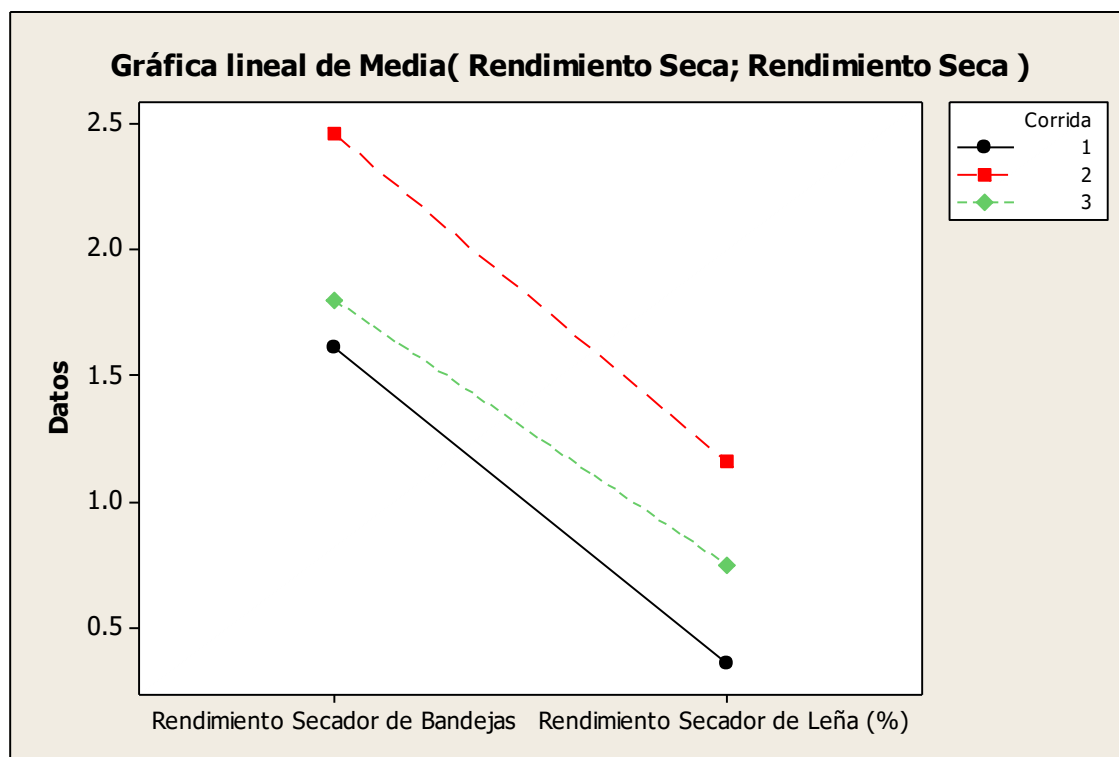
Fuente: elaboración propia.

Tabla LVI. **Rendimiento del aceite esencial de cardamomo de primera calidad, utilizando el secador industrial de leña, para el secado del cardamomo cereza**

Corrida	Rendimiento (%)
1	0,36±0,004
2	1,16±0,004
3	0,75±0,004

Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Gráfico lineal de medias comparativas del rendimiento del aceite esencial de cardamomo en función del tipo de secado**



Fuente: elaboración propia, empleando Matlab.

Tabla LVII. **Densidad del aceite esencial de cardamomo pergamino de primera calidad, utilizando para su secado, el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal**

Corrida	Densidad (g/mL)
1	0,9127±0,0056
2	0,9091±0,0046
3	0,9065±0,0010

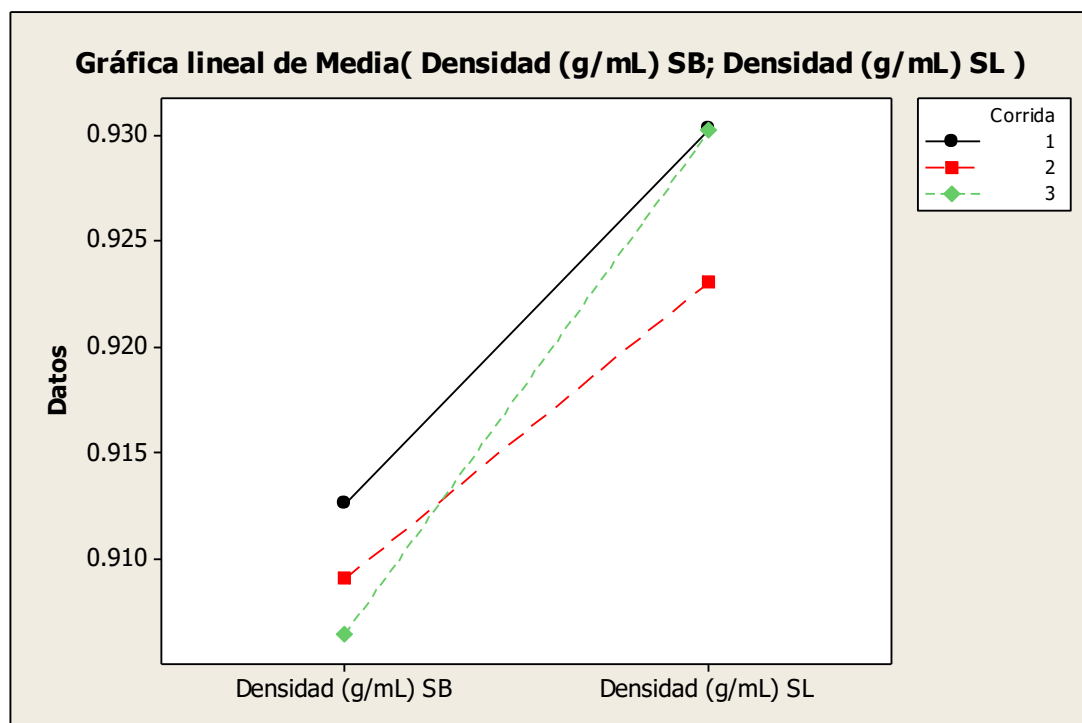
Fuente: elaboración propia.

Tabla LVIII. **Densidad del aceite esencial de cardamomo pergamino de primera calidad, utilizando para su secado, el secador industrial de leña**

Corrida	Densidad (g/mL)
1	0,9303±0,0031
2	0,9231±0,0031
3	0,9302±0,0023

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Gráfico lineal de medias comparativas de la densidad del aceite esencial de cardamomo en función del tipo de secado**



Fuente: elaboración propia, empleando Matlab.

Tabla LIX. **Índice de refracción del aceite esencial de cardamomo
pergamino de primera calidad, utilizando para su secado, el
secador eléctrico de bandejas de flujo transversal**

Corrida	Índice de refracción
1	1,4612±0,0003
2	1,4620±0
3	1,4610±0

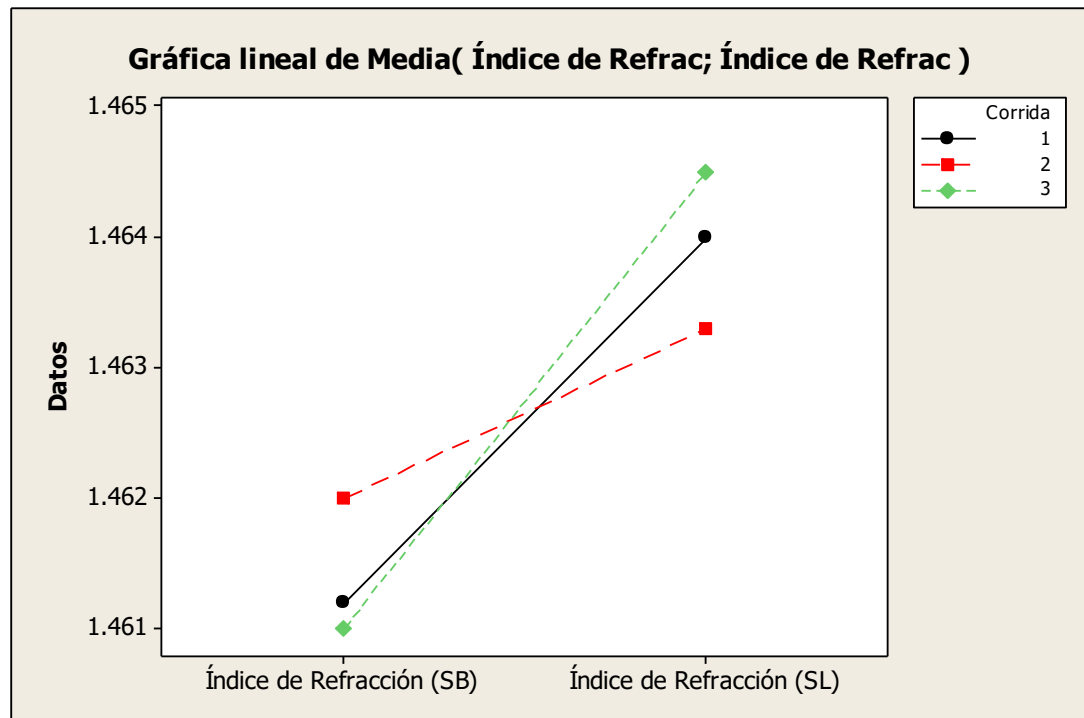
Fuente: elaboración propia.

Tabla LX. **Índice de refracción del aceite esencial de cardamomo
pergamino de primera calidad, utilizando para su secado, el
secador industrial de leña**

Corrida	Índice de refracción
1	1,4640±0
2	1,4633±0003
3	1,4645±0

Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Gráfico lineal de medias comparativas del índice de refracción del aceite esencial de cardamomo en función del tipo de secado**



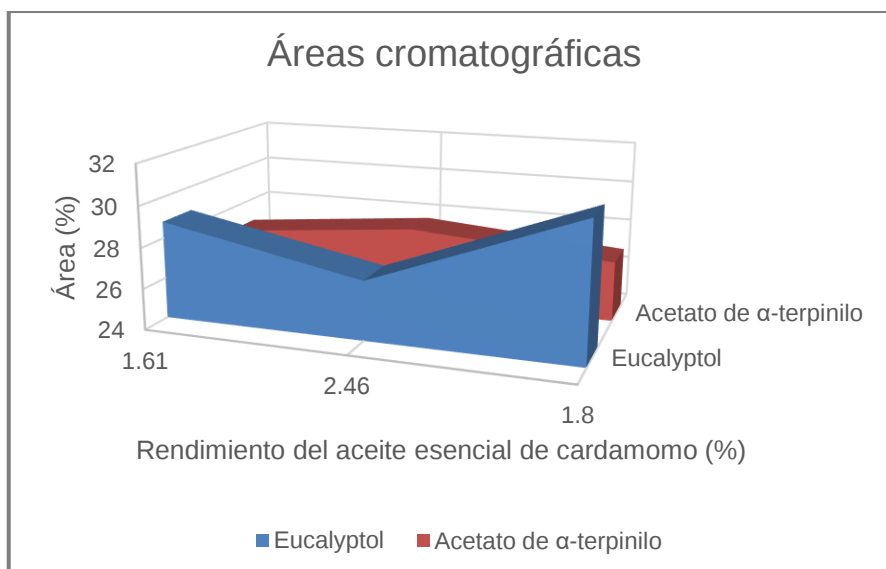
Fuente: elaboración propia, empleando Matlab.

Tabla LXI. **Contenido del acetato de α -terpinilo y del 1,8-cineol (*Eucalyptol*), en el aceite esencial de cardamomo, utilizando para el secado del cardamomo cereza, el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal**

Rendimiento (%)	Contenido	Área (%)
1,61	1,8-cineol (<i>Eucalyptol</i>)	28,81
	3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate (Acetato de α -terpinilo)	26,79
2,46	1,8-cineol (<i>Eucalyptol</i>)	26,88
	3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate (Acetato de α -terpinilo)	27,72
1,8	1,8-cineol (<i>Eucalyptol</i>)	30,66
	3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate (Acetato de α -terpinilo)	26,93

Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Gráfico de áreas comparativas del contenido del acetato de α -terpinilo y del 1,8-cineol (*Eucalyptol*), en el aceite esencial de cardamomo, utilizando para el secado del cardamomo cereza, el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal**



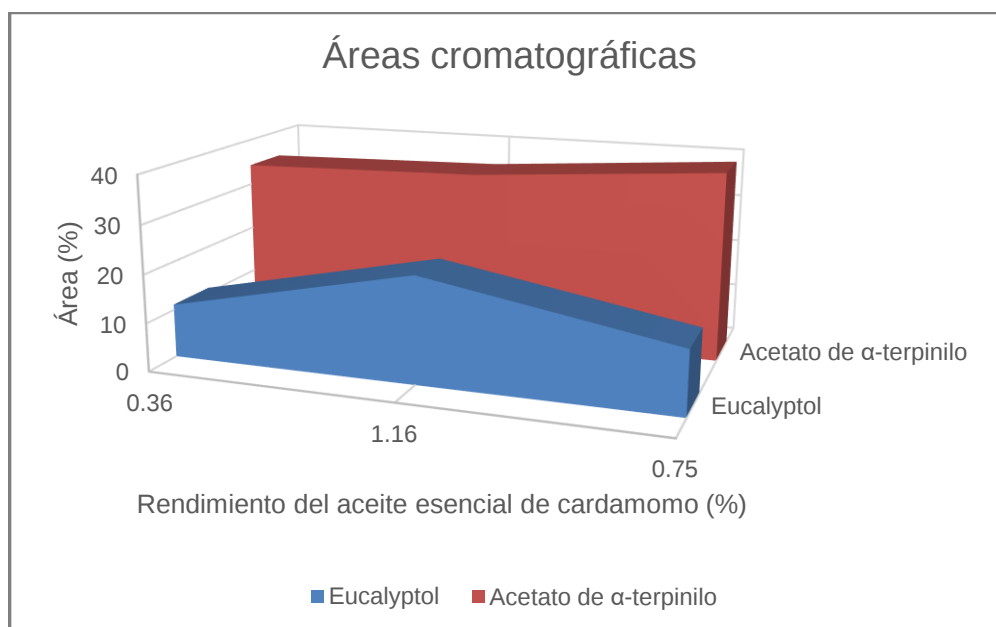
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXII. **Contenido del Acetato de α -terpinilo y del 1,8-cineol (*Eucalyptol*), en el aceite esencial de cardamomo, utilizando el secador de leña para el secado del cardamomo cereza**

Rendimiento (%)	Composición	Área (%)
0,36	1,8-cineol (<i>Eucalyptol</i>)	11,103
	3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate (Acetato de α -terpinilo)	34,32
1,16	1,8-cineol (<i>Eucalyptol</i>)	22,07
	3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate (Acetato de α -terpinilo)	35,4
0,75	1,8-cineol (<i>Eucalyptol</i>)	13,13
	3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate (Acetato de α -terpinilo)	39,05

Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Gráfico de áreas comparativas del contenido del Acetato de α -terpinilo y del 1,8-cineol (*Eucalyptol*), en el aceite esencial de cardamomo, utilizando el secador de leña para el secado del cardamomo cereza**



Fuente: elaboración propia.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presente investigación realizada a nivel de trabajo de graduación tuvo como finalidad la influencia del tipo de secado en el rendimiento del aceite esencial de cardamomo de primera calidad.

Los equipos utilizados para determinar dicha influencia fueron; un secador eléctrico de bandejas de flujo transversal y un secador industrial de leña.

Se trabajaron 4 quintales de cardamomo cereza en el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal, obteniendo como resultado, cardamomo pergamino de distintas calidades en una relación de 4,25:1, esto quiere decir que, utilizando este método de secado, se obtuvo 1 quintal de cardamomo pergamino por cada 4,25 quintales de cardamomo cereza; mientras que, en el secador de leña la relación es de 4,75:1, es decir que, por cada 4,75 quintales de cardamomo cereza se obtiene 1 quintal de cardamomo pergamino de distintas calidades (datos proporcionados por CARDEGUA), es importante recalcar que en los dos métodos de secado se trabajó bajo distintas condiciones, las cuales afectaron directamente el rendimiento de secado; dichas condiciones se basan principalmente que en el secador de leña no existen condiciones controladas, debido a que actualmente la industria de cardamomo no cuenta con sistemas tecnificados para realizar el proceso de secado del cardamomo, por lo que dichos secadores funcionan a la intemperie con grandes volúmenes de materia prima con una llama constante sin control de temperatura afectando directamente la uniformidad del secado ocasionando la pérdida de materia prima por la quema del cardamomo y pérdida por movimientos bruscos, porque en su afán por lograr esa uniformidad de secado una persona agita constantemente el cardamomo

cereza haciendo que la vaina sufra aberturas degradando la calidad del mismo, de igual forma, no existe un control de humedad tecnificado y los beneficios de cardamomo no cuentan con balanzas de humedad por lo que un técnico determina el punto de secado.

Para la contraparte, en este caso, el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal, las condiciones fueron controladas, es decir se manejó una temperatura constante de 35 °C, la cual, es la recomendada por la literatura para trabajar este tipo de materia prima rica en oleorresinas; con una apertura de dâmpen del 100 % dando como resultado un flujo másico de aire sin variación y por último la variable más influyente para determinar que el cardamomo ha cumplido su tiempo de secado fue el porcentaje de humedad, el cual se fue determinando en intervalos de 3 horas hasta alcanzar un porcentaje de humedad recomendado en la literatura, siendo este del 9 % al 12 %.

Utilizando un método de secado bajo condiciones controladas permitió determinar las curvas de secado para 1 quintal de cardamomo a una temperatura de 35 °C con una apertura del 100 % de dâmpen tal y como se muestra en la 16, en la cual se logró observar el tiempo total de secado siendo este de 15 horas exactas.

Para el secador de leña, el tiempo de secado oscila entre 18 y 48 horas para un volumen de cardamomo cereza indefinido y sin control de humedad por lo que no fue posible determinar las curvas de secado para este tipo de secador.

Comparando los dos métodos de secado en cuestión del rendimiento de cardamomo pergamino obtenido en función del tipo de secado, no se manifestó una diferencia significativa, sin embargo, para determinar la influencia del tipo de secado en el rendimiento de aceite esencial fue necesario realizar una

clasificación de las calidades obtenidas del cardamomo pergamino, recuperando un total de 7,5 Kg de cardamomo pergamino de primera calidad.

Al cardamomo clasificado (primera calidad), se le realizó la extracción de aceite esencial por un período de dos horas, dividiendo la materia prima en 2,5 kg por cada corrida, obteniendo un total de 3 extracciones a nivel de planta piloto. El mismo procedimiento se realizó con el cardamomo pergamino de primera calidad proveniente del secador de leña, obteniendo los resultados que se muestran en las tablas XLIV para el cardamomo secado en el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal y XLV para el secador de leña.

En dicha extracción, se observó una diferencia significativa en los dos métodos de secado utilizados, y el comportamiento del rendimiento del aceite esencial de cardamomo secado con el método del secador eléctrico de bandejas de flujo transversal. fue mayor al rendimiento del aceite esencial de cardamomo utilizando el método de secado de leña utilizado en la industria, tal y como se observa en el capítulo del diseño metodológico en la sección de análisis estadístico en la tabla XXIX, donde se presentan los datos de diferenciación de medias determinando que el rendimiento de aceite esencial de cardamomo se ve influenciado por el tipo de secado, porque la F calculada fue mayor a la F crítica, indicando como afecta el tipo de secado en el rendimiento del aceite esencial.

Después de realizar la extracción de aceite esencial y evaluar su rendimiento, se procedió a realizar una caracterización fisicoquímica del mismo, donde se evaluó la densidad, el índice de refracción y cromatografía de gases con espectrometría de masas (GC/MS).

Para evaluar la densidad del aceite esencial de cardamomo se realizaron tres corridas por cada rendimiento obtenido para ambos tipos de secado y

determinar si existía una diferencia significativa en cada extracción de aceite esencial, obteniendo los resultados como se muestra en las tablas XLVI y XLVII en el capítulo de resultados; en la sección de análisis estadístico, se determinó que la diferencia de densidades en función de los rendimientos de aceite esencial, siguió un comportamiento interesante, y no resultó significativa para el cardamomo secado en el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal, pero si fue significativa para el cardamomo secado en el secador de leña (ver tabla XXXI y XXXIII), así mismo, se encontró una diferencia significativa al comparar las densidades del aceite esencial de cardamomo en función del tipo de secado, al igual que el comportamiento del rendimiento del aceite esencial, se observó que el tipo de secado si influyó en la densidad obtenida (ver tabla XXXV).

Posterior al análisis de la densidad se evaluó el índice de refracción, con el fin de determinar la pureza del aceite esencial de cardamomo, normalmente este valor se encuentra en la literatura en un rango de 1,462 a 1,466; para su evaluación, se utilizó el mismo método anterior para encontrar diferencias significativas, es decir, primero se realizó la comparación entre cada uno de los rendimientos obtenidos por cada tipo de secado y posteriormente se realizó la evaluación de la influencia de los dos tipos de secado, se observó diferencia significativa entre cada uno de los rendimientos de aceite esencial de cardamomo por cada tipo de secado (ver tablas XXXVII, XXXIX), es decir que el rendimiento de cada extracción influyó considerablemente en el índice de refracción del aceite esencial de cardamomo; y así mismo, se observó diferencia significativa por la influencia del tipo de secado, sin embargo ninguno de los dos tipos de secado sobrepasó los límites del índice de refracción que indica la literatura tal como se observó en la tablas XLVIII y XLIX

La última fase de la caracterización consistió en realizar una separación de todos los compuestos químicos del aceite esencial, esto se realizó a través de un cromatógrafo de gases acoplado a espectrofotometría de masas (GC/MS).

El cromatógrafo de gases permitió realizar una descomposición de tres compuestos orgánicos por cada *peak*, en diferentes tiempos de retención, formando un cromatograma, en el cuál, se mostró la detección en el espectro de masas por medio de una serie de picos, siendo los más altos, los compuestos que mayor porcentaje de área abarcaban y, por ende, los más abundantes dentro del aceite esencial.

En el capítulo del marco teórico, se mostraron los compuestos más abundantes en el aceite esencial de cardamomo, indicando que estos eran 1,8 cineol (*Eucaliptol*) y acetado de α -terpentilo; al momento de mostrar la descomposición del aceite esencial se determinó que la pureza del aceite esencial de cardamomo secado en el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal fue mayor a la pureza del aceite esencial de cardamomo secado en el secador industrial de leña, y al momento de encontrar los compuestos de *Eucaliptol* y acetado de α -terpentilo, se encontraron mezclas distintas en los niveles bajos, medios y altos de la curva (ver apéndices del 7 al 14).

Nuevamente se observó que el tipo de secado si influyó en los resultados de la cromatografía de gases, cabe recalcar, que el tipo de secado de leña afectó las oleorresinas del cardamomo, porque no se tuvo control de la temperatura, posiblemente alcanzando valores por arriba de los 40 °C que es lo recomendado en la literatura para tratar plantas aromáticas.

Contrariamente, al trabajar con condiciones controladas, tal y como se trabajó en el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal, la temperatura

permaneció constante a 35 °C, y así mismo, se controló la humedad cada tres horas para llegar al porcentaje aceptable para plantas aromáticas. Esto influyó de manera significativa, porque al momento de realizar la caracterización fisicoquímica del aceite esencial de cardamomo, si se observó una diferencia significativa en cada uno de los resultados obtenidos.

CONCLUSIONES

1. No existe diferencia significativa en el tiempo de secado utilizando el método de secado eléctrico de bandejas de flujo transversal y el método de secado de leña utilizado en la Industria.
2. El porcentaje de humedad para obtener el mayor rendimiento de aceite esencial se encontró en un rango de 9,27 %-10,81 %. Dicho rendimiento se encontró con materia prima secada en el secador de bandejas eléctrico de flujo transversal.
3. El tiempo de secado óptimo para este estudio, en el secador de bandejas eléctrico de flujo transversal fue de 15 horas.
4. Sí existe diferencia significativa en el rendimiento de aceite esencial de cardamomo utilizando los dos diferentes métodos de secado, obteniéndose un valor máximo de 2,46 %, en el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal.
5. Sí existe diferencia significativa en la densidad, índice de refracción y en los resultados de la cromatografía del aceite esencial de cardamomo utilizando los dos diferentes métodos de secado, porque la F calculado fue mayor que la F crítica, encontrando que el mayor contenido de acetato de α -terpentilo y 1,8 cineol se encontró en el aceite esencial de cardamomo secado en el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal.

RECOMENDACIONES

1. Realizar una comparación de la influencia de los dos tipos de secado, en el rendimiento de aceite esencial, para la segunda, tercera, cuarta y quinta calidad de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton).
2. Realizar un estudio de rendimiento de aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), para la primera, segunda, tercera, cuarta y quinta calidad de cardamomo.
3. Realizar un estudio del secado de cardamomo a diferentes aperturas del dámper para evaluar si existe un cambio en el tiempo de secado.
4. Realizar una caracterización del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), para la primera, segunda, tercera, cuarta y quinta calidad de cardamomo.
5. Realizar un análisis cromatográfico para todas las calidades del aceite esencial de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L. Matton), comparando los dos métodos de secado.

BIBLIOGRAFÍA

1. CARDEGUA. *Blog de noticias de CARDEGUA*. [en línea]. <<http://www.cardegua.com/>>. [Consulta: 19 de octubre de 2013].
2. DEULOFEU GABRIEL, Nora Matilde. *Determinación del rendimiento de la oleorresina de tres distintas clases de cardamomo (Elettaria cardamomum Matton) cultivado en Alta Verapaz, extraída por maceración dinámica y dos solventes distintos, a nivel laboratorio*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. 112 p.
3. ELFRIEDE DE PÖLL, Radu Badulescu. *Características diferenciales en cardamomo: zona norte de Guatemala, regiones 4, 5, y 6*. Universidad del Valle de Guatemala, Instituto de Investigaciones, PROGECAR, 1990. 41 p.
4. FONNEGRA G, Ramiro. y JIMÉNEZ, Silvia Luz. *Plantas medicinales aprobadas en Colombia*. 2a ed. Colombia: Editorial Universidad de Antioquia, 2007. 20 p.
5. Herbotecnia. *Secado de hierbas aromáticas y medicinales-métodos*. [en línea]. <<http://www.herbotecnia.com.ar/poscosechasecadoMetodos.htm>>. [Consulta: 25 de octubre de 2013].

6. LIMA AGUIRRE Sergio Iván. *Análisis de los rendimientos obtenidos de dos especies de eucalipto trabajados en seco a nivel laboratorio y a nivel planta piloto en la extracción de su aceite esencial*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005. 76 p.
7. LOSSI NISHTAL, Estefani Anna. *Obtención del aceite esencial del flavelo del fruto de naranjo dulce (Citrus Sinesis L.) Ttpo Blanca, variedad Valencia, empleando el método de destilación por arrastre de vapor a nivel laboratorio, en función de diferentes tipos de corte y contenido de humedad*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012. 146 p.
8. Merck. *Solución avanzada para la fabricación de ADC*. [en línea]. <https://www.sigmaaldrich.com/Graphics/COfAInfo/SigmaSAPQM/SPEC/W2/W224111/W224111-BULK-K____ALDRICH____.pdf>. [Consulta: 20 de octubre de 2013].
9. PEÑA PÉREZ, Adolfo Fernando, *Costos de beneficiado del cardamomo según los tipos de secadoras comúnmente utilizados en el departamento de Alta Verapaz*. Trabajo de graduación de Ing. Agrónoma. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1981. 62 p.
10. PERRY, John. *Manual del Ingeniero Químico*. 3a ed. México: McGraw-Hill, 1996. 2577 p.

11. RAMÍREZ PÉREZ, Kimberlin Yolanda. *Evaluación comparativa de la calidad y rendimiento de la oleorresina de cardamomo (Elettaria cardamomum) obtenida a nivel laboratorio utilizando materia prima sana y materia prima infestada con TRIPS (Frankliniella occidentalis)*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2019. 159 p.
12. SOBERANIS IBÁÑEZ, Adrián Antonio. *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo (Elettaria cardamomum, L. Matton) obtenida a nivel laboratorio utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009. 203 p.
13. Universidad Politécnica de Madrid. *Uso industrial de plantas aromáticas y medicinales*. [en línea]. <<http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/uso-industrial-deplanta-s-aromaticas-y-medicinales/contenidos/material-declase/tema7.pdf>>. [Consulta: 20 de octubre de 2013].

APÉNDICES

Apéndice 1. **Secado del cardamomo cereza en el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE.

Apéndice 2. **Secado de cardamomo en el secador industrial de leña**
(CARDEGUA)



Fuente: elaboración propia, Asociación de Cardamomeros de Guatemala, CARDEGUA.

Apéndice 3. **Clasificación de la primera calidad del cardamomo**
pergamino



Continuación del apéndice 3.

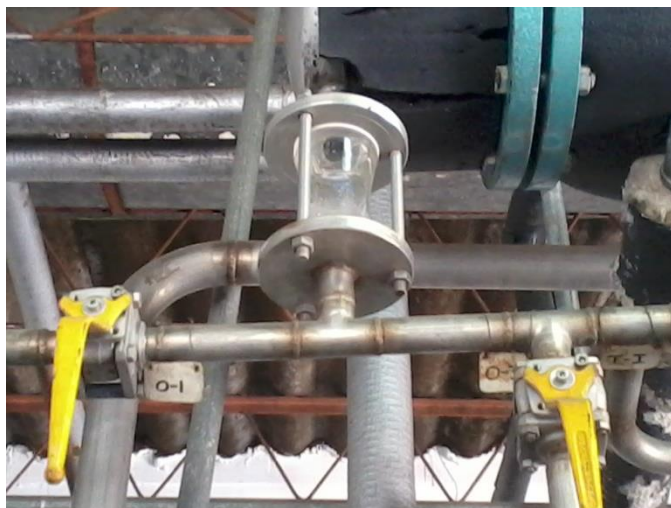


Fuente: elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE.

Apéndice 4. **Extracción de aceite esencial de cardamomo**



Continuación del apéndice 4.



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE.

Apéndice 5. **Densidad del cardamomo de primera calidad (secador eléctrico de bandejas de flujo transversal y secador industrial de leña)**



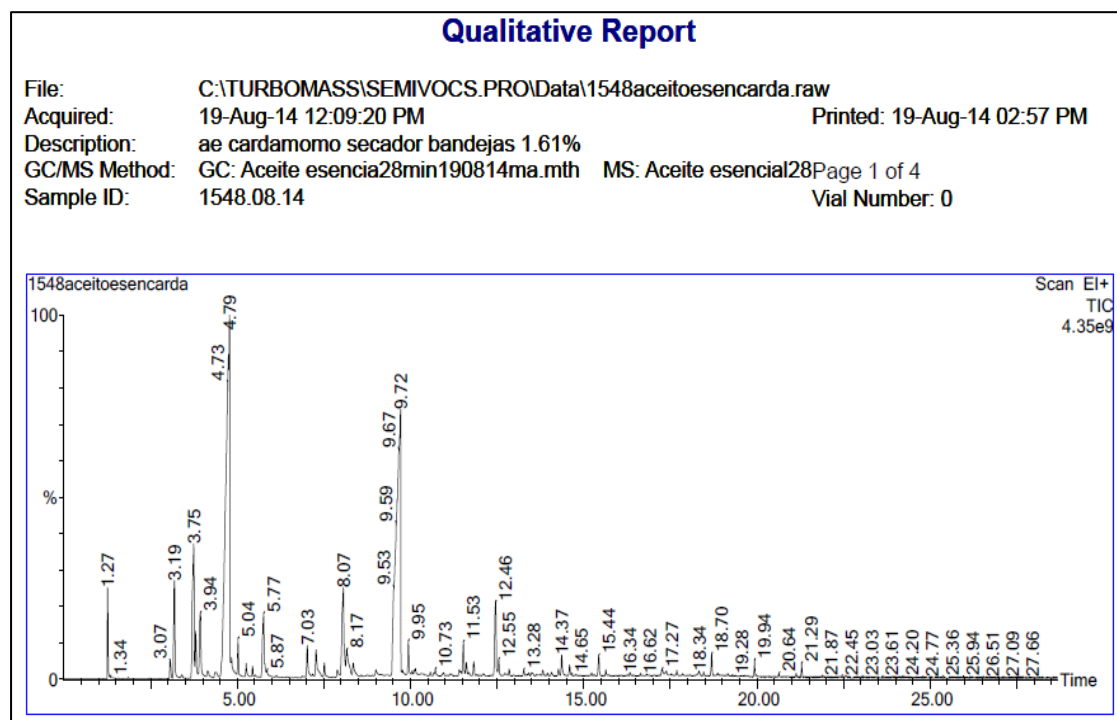
Fuente: elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIXVE.

Apéndice 6. **Índice de refracción del cardamomo de primera calidad (secador eléctrico de bandejas de flujo transversal y secador industrial de leña)**



Fuente: elaboración propia, Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIXVE.

Apéndice 7. Cromatograma del aceite esencial de cardamomo de primera calidad con rendimiento de 1,61 % utilizando el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal



Fuente: elaboración propia, empleando cromatógrafo de gases del Departamento de Toxicología de la Escuela de Química Farmacéutica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

**Apéndice 8. Composición química para el aceite esencial de
cardamomo, rendimiento 1,61 % (secado con secador
eléctrico de bandejas de flujo transversal)**

No.	Retención (min)	Compound Name	Match	R.Match	CAS	% Area
1	1,269	Methane, oxybis[dichloro-	934	979	20524-86-1	1,50
		Trichloromethane	877	969	67-66-3	
		Trichloromethane	968	968	67-66-3	
2	3,075	Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-	958	980	2867-05-2	0,48
		Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-	969	979	2867-05-2	
		Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-	943	974	28634-89-1	
3	3,195	3-Carene	966	980	13466-78-9	2,78
		à-Pinene	977	977	80-56-8	
		Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,3,3-trimethyl-	966	976	488-97-1	
4	3,415	Camphene	982	983	79-92-5	0,10
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2-dimethyl-3-methylene-, (1S)-	971	978	5794-04-7	
		Camphene	973	977	79-92-5	
5	3,755	Cyclohexene, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	899	978	99-84-3	4,50
		à-Phellandrene	934	972	555-10-2	
		à-Phellandrene	960	969	555-10-2	
6	3,815	Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	978	978	18172-67-3	0,73
		à-Pinene	974	974	127-91-3	
		Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	967	972	18172-67-3	
7	3,945	Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	961	961	18172-67-3	2,17
		à-Pinene	958	958	127-91-3	
		à-Pinene	942	946	127-91-3	
8	4,155	Octanal	984	988	124-13-0	0,24
		Octanal	982	985	124-13-0	
		Octanal	958	980	124-13-0	
9	4,375	1,3-Cyclohexadiene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	952	970	99-86-5	0,29
		Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	838	970	586-63-0	
		(+)-2-Carene	958	958		
10	4,785	Eucalyptol	977	987	470-82-6	28,81
		Eucalyptol	966	978	470-82-6	
		Eucalyptol	974	977	470-82-6	
11	4,845	Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octane, 8-methylene-, (1à,2à,4à,5à)-	459	956	38310-48-4	0,20
		3-Carene	901	916	13466-78-9	
		Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-methylene-	595	904	54211-14-2	
12	5,035	ç-Terpinene	974	976	99-85-4	0,67
		ç-Terpinene	973	976	99-85-4	
		Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octane, 8-methylene-, (1à,2à,4à,5à)-	420	970	38310-48-4	
13	5,265	Bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-, (1à,2à,5à)-	946	968	17699-16-0	0,31
		Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octane, 8-methylene-, (1à,2à,4à,5à)-	270	958	38310-48-4	
		Bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-, (1à,2à,5à)-	948	951	15537-55-0	
14	5,451	Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	865	980	586-63-0	0,21
		Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-	956	976	586-62-9	
		(+)-4-Carene	963	971	29050-33-7	

Continuación del apéndice 8.

15	5,531	Borneol	472	906	507-70-0	0,04
		Linalool	469	900	78-70-6	
		Terpineol	466	895	98-55-5	
16	5,771	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	961	964	78-70-6	2,47
		1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	954	955	78-70-6	
		1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	950	950	78-70-6	
17	5,866	4-Penten-1-ol	554	927	821-09-0	0,25
		3-Methyl-2-buten-1-ol	553	926	556-82-1	
		2-Methyl-3-buten-2-ol	552	924	115-18-4	
18	6,141	3-Carene	766	953	13466-78-9	0,04
		Cyclohexene, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	736	951	99-84-3	
		Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-	688	949	28634-89-1	
19	6,886	3-Hexyne, 2-methyl-	286	946	36566-80-0	0,04
		7-Octen-2-ol, 2-methyl-6-methylene-	811	893	543-39-5	
		Cyclohexane, methylene-	357	884	1192-37-6	
20	7,031	Terpinen-4-ol	975	979	562-74-3	0,82
		3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-, (R)-	974	976	20126-76-5	
		Terpinen-4-ol	960	976	562-74-3	
21	7,181	cis-4-Decenal	893	902	21662-09-9	0,04
		cis-4-Decenal	889	898	21662-09-9	
		cis-Undec-4-enal	816	872	68820-32-6	
22	7,281	à-Terpineol	968	971	98-55-5	1,05
		L-à-Terpineol	970	970	10482-56-1	
		à-Terpineol	953	965	98-55-5	
23	7,521	ç-Terpinene	900	972	99-85-4	0,39
		4-Terpinenyl acetate	954	971	1066974	
		3-Carene	900	961	13466-78-9	
24	7,896	2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)-	965	966	106-26-3	0,25
		2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)-	960	966	106-26-3	
		Citral	909	934	5392-40-5	
25	8,072	3-Carene	877	948	13466-78-9	4,10
		(+)-3-Carene	938	947	498-15-7	
		à-Ocimene	871	946	13877-91-3	
26	8,172	Geraniol	957	962	106-24-1	1,41
		Geraniol	956	957	106-24-1	
		2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-	953	957	624-15-7	
27	8,352	2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)-	971	972	141-27-5	0,42
		Citral	968	968	5392-40-5	
		2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)-	962	964	141-27-5	
28	8,757	Cyclopenta[c]pyran-1,3-dione, 4,4a,5,6-tetrahydro-4,7-dimethyl-	366	937	66407-26-9	0,04
		Camphene	605	919	79-92-5	
		1,3,6-Heptatriene, 2,5,5-trimethyl-	523	915	29548-02-5	
29	9,012	Cyclohexane, 1-methylene-4-(1-methylethenyl)-	824	974	499-97-8	0,31
		Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-methylene-	475	963	54211-14-2	
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 7,7-dimethyl-2-methylene-	771	958	471-84-1	
30	9,172	3-Hexyne, 2-methyl-	129	795	36566-80-0	0,06
		cis-1,3-Cyclohexanedicarbonitrile	197	792	10340-01-9	
		3,4-Dihydroxybenzoic acid	100	780	99-50-3	
31	9,347	1-Oxaspiro[2.5]oct-5-ene, 8,8-dimethyl-4-methylene-	297	941	54345-60-7	0,04
		Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-methylene-	245	928	54211-14-2	
		5,10-Pentadecadiyne, 1-chloro-	271	915	64275-44-1	

Continuación del apéndice 8.

32	9,722	3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate	946	968	80-26-2	26,79
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2-dimethyl-3-methylene-, (1S)-	877	941	5794-04-7	
		3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate	922	938	80-26-2	
33	9,777	Trans-3-methylpent-3-ene-5-ol	280	900	30801-95-7	0,16
		2-(Methylthio)benzoic acid	155	866	666482	
		Cis-3-methylpent-3-ene-5-ol	288	856	30804-75-2	
34	9,947	4-Hexen-1-ol, 5-methyl-2-(1-methylethenyl)-, acetate	962	965	25905-14-0	0,80
		2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate, (Z)-	952	954	141-12-8	
		à-Myrcene	899	940	123-35-3	
35	10,057	Cyclohexane, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, trans- (Z)-Dec-4-enyl ethyl carbonate	725	905	1124-25-0	0,10
		5-Decen-1-ol, acetate, (E)-	855	903		
			851	899	38421-90-8	
36	10,147	Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1-methylethenyl)-, [1S-(1à,2à,4à)]-	952	964	515-13-9	0,25
		Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1-methylethenyl)-, [1S-(1à,2à,4à)]-	940	956	515-13-9	
		1,5-Cyclodecadiene, 1,5-dimethyl-8-(1-methylethenyl)-, [S-(Z,E)]-	848	949	75023-40-4	
37	10,312	Benzenepropanoic acid, à-(aminooxy)-	318	920	5619-43-2	0,17
		Methyleugenol	755	885	93-15-2	
		Methyleugenol	763	880	93-15-2	
38	10,583	Caryophyllene	974	981	87-44-5	0,09
		Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-8-methylene-, [1R-(1R*,4Z,9S*)]-	961	975	118-65-0	
		Caryophyllene	966	971	87-44-5	
39	10,683	1,5-Cyclodecadiene, 1,5-dimethyl-8-(1-methylethylidene)-, (E,E)-	904	983	15423-57-1	0,06
		ç-Elemene	904	982	29873-99-2	
		ç-Elemene	938	966	29873-99-2	
40	10,728	Cyclohexene, 1-methyl-5-(1-methylethenyl)-, (R)-	730	877	1461-27-4	0,19
		Limonene	727	877	138-86-3	
		3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, propanoate	869	872	80-27-3	
41	10,963	1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1-methylethyl)-, [S-(E,E)]-	766	936	23986-74-5	0,12
		Naphthalene, 1,2,3,5,6,7,8,8a-octahydro-1,8a-dimethyl-7-(1-methylethenyl)-, [1R-(1à,7à,8aà)]-	764	930	4630-07-3	
		Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7-(1-methylethenyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aà)]-	760	930	17066-67-0	
42	11,178	8-Chloro-1-octanol	213	905	23144-52-7	0,11
		Butanoic acid, 2-methyl-, 3,7-dimethyl-2,6-octadienyl ester, (E)-	360	904	68705-63-5	
		8-Chloro-1-octanol	219	903	23144-52-7	
43	11,413	1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1-methylethyl)-, [S-(E,E)]-	884	976	23986-74-5	0,15
		1H-Cyclopenta[1,3]cyclopropa[1,2]benzene, octahydro-7-methyl-3-methylene-4-(1-methylethyl)-, [3aS-(3aà,3bà,4à,7à,7aS*)]-	924	968	13744-15-5	
		à-copaene	961	966		
44	11,463	6-Oxabicyclo[3.2.1]oct-2-ene-8-carboxylic acid, 1,8-dimethyl-7-oxo-, anti-(ñ)-	230	761	54345-92-5	0,08
		Cyclopenta[c]pyran-1,3-dione, 4,4a,5,6-tetrahydro-4,7-dimethyl-	308	759	66407-26-9	
		N-m-Tolylloxycetyl-benzenesulfonamide	200	741		

Continuación del apéndice 8.

45	11,533	Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7-(1-methylethenyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aá)]-	957	982	17066-67-0	0,81
		Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7-(1-methylethenyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aá)]-	952	978	17066-67-0	
		Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-4a,8-dimethyl-2-(1-methylethenyl)-, [2R-(2à,4aà,8aá)]-	926	958	473-13-2	
46	11,623	Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-4a,8-dimethyl-2-(1-methylethenyl)-, [2R-(2à,4aà,8aá)]-	936	955	473-13-2	0,26
		2-Isopropenyl-4a,8-dimethyl-1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydronaphthalene	933	951		
		2-Isopropenyl-4a,8-dimethyl-1,2,3,4,4a,5,6,7-octahydronaphthalene	924	946		
47	11,693	5,6-Decadien-3-yne, 5,7-diethyl-	385	928	61227-89-2	0,07
		cis-muurolo-4(14),5-diene	559	920		
		Ibuprofen	259	912	15687-27-1	
48	11,833	Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-, (1à,4aà,8aà)-	976	985	39029-41-9	0,35
		ç-Muuroloene	959	975	30021-74-0	
		ç-Muuroloene	970	974	30021-74-0	
49	11,923	7-epi-à-selinene	459	925		0,06
		Selina-3,7(11)-diene	430	838	6813-21-4	
		7-epi-à-eudesmol	394	838	123123-38-6	
50	12,093	cis-muurolo-3,5-diene	757	950		0,11
		cis-muurolo-4(14),5-diene	638	947		
		à-Cubebene	771	932	17699-14-8	
51	12,468	1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-, (E)-	950	961	40716-66-3	2,34
		1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-	953	954	7212-44-4	
		3,7,11-Trimethyl-3-hydroxy-6,10-dodecadien-1-yl acetate	662	954		
52	12,553	Geranyl bromide	831	869	6138-90-5	0,29
		1,5-Heptadiene, 2,6-dimethyl-	793	862	6709-39-3	
		4-Methyl-1,5-Heptadiene	746	855	998-94-7	
53	12,733	8-Dodecen-1-ol, acetate, (Z)-	761	967	28079-04-1	0,13
		Cyclododecene, (E)-	763	957	1486-75-5	
		Cyclododecene	753	957	1501-82-2	
54	12,853	Glycerol 1-stearate	355	972	11099-07-3	0,16
		Tetracosane	395	955	646-31-1	
		Tetradecane	391	945	629-59-4	
55	12,993	Acetic acid, trifluoro-, 3,4-dimethylphenyl ester	218	898	1957-55-7	0,04
		1,3,5-Cycloheptatriene, 1-methoxy-	155	883	1728-32-1	
		Acetic acid, trifluoro-, 2,6-dimethylphenyl ester	209	864	-21028	
56	13,279	1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1-methylethyl)-, [S-(E,E)]-	804	968	23986-74-5	0,15
		Isoledene	887	945		
		Naphthalene, 1,2,4a,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-	826	944	483-75-0	
57	13,424	Glycerol 1-myristate	352	957	1330-67-2	0,07
		Glycerol 1-myristate	341	944	1330-67-2	
		3-Methyl-2-(2-oxopropyl)furan	409	931	87773-62-4	
58	13,504	Silabenzene,1-methyl-	134	942	63878-65-9	0,14
		1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexane	275	913		
		1,2-Cyclooctadiene	167	909	7124-40-5	
59	13,649	Bicyclo[5.1.0]octane, 8-methylene-	410	904	54211-15-3	0,04
		Bicyclo[6.1.0]non-1-ene	418	881	244866	
		cis,cis,cis-7,10,13-Hexadecatrienal	602	867	56797-43-4	

Continuación del apéndice 8.

60	13,829	Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7-(1-methylethenyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aá)]-	715	948	17066-67-0	0,14
		(2S,4R)-p-Mentha-[1(7),8]-diene 2-hydroperoxide	435	948		
		1H-3a,7-Methanoazulene, octahydro-1,9,9-trimethyl-4-methylene-, (1à,3aà,7à,8aá)-	698	945	508-55-4	
61	13,959	photocitral B	344	931	6040-45-5	0,07
		1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2-hydroperfluorobutanoate	227	931		
		1-Formyl-2,2-dimethyl-3-trans-(3-methyl-but-2-enyl)-6-methylidene-cyclohexane	485	891		
62	14,074	Hexadecane	769	966	544-76-3	0,12
		Heptadecane	769	961	629-78-7	
		Tridecane	759	961	629-50-5	
63	14,274	1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexane	445	957		0,17
		1-Formyl-2,2-dimethyl-3-trans-(3-methyl-but-2-enyl)-6-methylidene-cyclohexane	482	947		
		2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	464	940		
64	14,369	cis-à-Farnesene	837	968	28973-97-9	0,55
		(E)-à-Farnesene	916	956	18794-84-8	
		1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexane	590	956		
65	14,594	2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-	918	986	19317-11-4	0,29
		2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-, (E,E)-	900	973	502-67-0	
		2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-, (Z,E)-	909	972	4380-32-9	
66	14,774	Seleno-L-methionine	159	895	3211-76-5	0,06
		2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-9-(phenylsulfonyl)-, (E,E)-	306	866	57683-67-7	
		Cyclohexanone, 2,3,3-trimethyl-2-(3-methyl-1,3-butadienyl)-, (Z)-	375	863	69296-90-8	
67	15,229	Pentadecane	824	968	629-62-9	0,06
		Pentadecane	835	967	629-62-9	
		Hexadecane	822	967	544-76-3	
68	15,309	Dodecane, 2,6,10-trimethyl-	501	931	3891-98-3	0,05
		Decane, 2-methyl-	473	930	6975-98-0	
		3-Ethyl-3-methylheptane	453	925	17302-01-1	
69	15,439	1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2-hydroperfluorobutanoate	270	936		0,56
		(-)-Isolongifolol	478	922	1139-17-9	
		2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	428	921		
70	15,645	1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexane	526	951		0,16
		à-Bisabolene	859	948	495-61-4	
		à-Bisabolene	837	937	495-61-4	
71	15,720	2,2,5-Trimethyl-thiazolidine	121	860	54897-60-8	0,05
		2-(2-Methyl-2-aminopropyl)indole	90	845	3794-97-6	
		1-Propene, 3-propoxy-	97	836	1471-03-0	
72	16,340	Heptadecane	780	968	629-78-7	0,09
		Sulfurous acid, butyl nonyl ester	678	959		
		Heneicosane	799	958	629-94-7	
73	16,835	Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	147	730	18172-67-3	0,04
		7-Thiaprotoadamantane 7,7-dioxide	102	719	83570-55-2	
		Tricyclo[3.3.1.1(3,7)]decanone, 4-(hydroxymethyl)-, (1à,3á,4á,5à,7á)-	127	718	56781-91-0	

Continuación del apéndice 8.

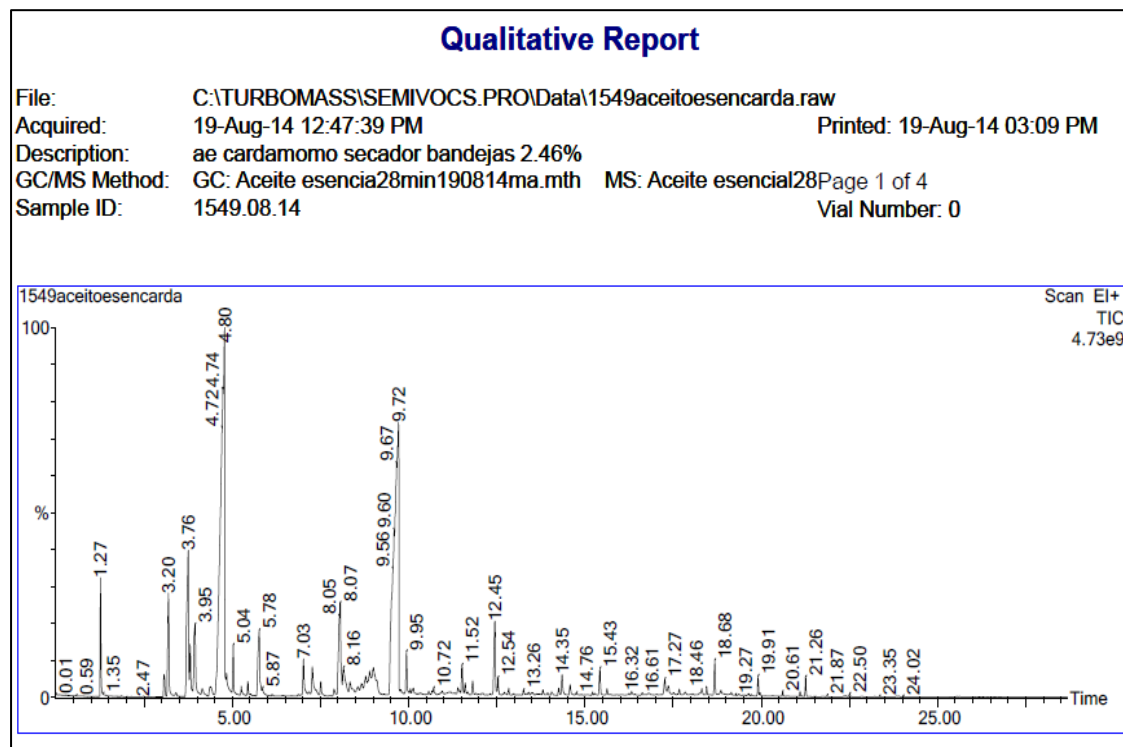
74	17,265	10-Chloro-1-decanol	259	991	51309-10-5	0,29
		DL-Arabinose	350	967	147-81-9	
		D-Arabinose	405	965	28697-53-2	
75	17,395	Heptadecane	704	974	629-78-7	0,18
		Pentadecane	688	968	629-62-9	
		Tetracosane	677	958	646-31-1	
76	17,690	1,6,10,14-Hexadecatetraen-3-ol, 3,7,11,15-tetramethyl-, (E,E)-	871	962	1113-21-9	0,13
		(E,E)-7,11,15-Trimethyl-3-methylene-hexadeca-1,6,10,14-tetraene	818	962	70901-63-2	
		(E,E,E)-3,7,11,15-Tetramethylhexadeca-1,3,6,10,14-pentaene	811	957	77898-97-6	
77	17,855	9,11-Octadecadiynoic acid, 8-oxo-, methyl ester	132	944	75125-35-8	0,07
		Dihydro-cis-à-copaene-8-ol	191	936	58569-27-0	
		2-(3-Methyl-but-1-ynyl)-cyclohexene-1-carboxaldehyde	221	920	106180-26-1	
78	18,336	Tetracosane	470	938	646-31-1	0,22
		Glycerol 1-stearate	405	938	11099-07-3	
		Heptadecane, 2-methyl-	483	931	1560-89-0	
79	18,471	3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	838	963	102608-53-7	0,11
		Phytol	856	945	150-86-7	
		Phytol, acetate	854	942		
80	18,696	15-Deoxy-.DELTA.12,14-prostaglandin J2	372	941	87893-55-8	0,56
		1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2-hydroperfluorobutanoate	167	925		
		15(S)-Hydroxy-(5Z,8Z,11Z,13E)-eicosatetraenoic acid	352	922	54845-95-3	
81	18,871	2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	308	936		0,16
		Cyclohexanecarboxaldehyde, 4-(hydroxymethyl)-(ñ)-Lavandulol	349	931	92385-32-5	
			284	931	58461-27-1	
82	18,971	N-Acetylglycine	26	915	543-24-8	0,13
		Cytidine 5'-triphosphate	53	793	65-47-4	
		Cytidine 5'-triphosphate	53	789	65-47-4	
83	19,121	1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexane	183	928		0,05
		1,3,3-Trimethyl-2-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexene	176	904		
		1-Formyl-2,2-dimethyl-3-trans-(3-methyl-but-2-enyl)-6-methylidene-cyclohexane	203	902		
84	19,171	Heptadecane	701	965	629-78-7	0,08
		Octadecane	695	965	593-45-3	
		Heptadecane	688	965	629-78-7	
85	19,386	4-Hydroxy-3-methylbenzoic acid	82	912	499-76-3	0,05
		(R)-(+)-Citronellic acid	143	890	18951-85-4	
		2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	151	886		
86	19,556	D(-)-Lyxose	123	954	1114-34-7	0,07
		D(-)-Lyxose	132	927	1114-34-7	
		D(-)-Lyxose	131	922	1114-34-7	
87	19,741	Phytol	341	965	7541-49-3	0,08
		10-Chloro-1-decanol	270	953	51309-10-5	
		1-Nonadecene	524	950	18435-45-5	
88	19,936	Heneicosane	980	990	629-94-7	0,35
		Eicosane	972	986	112-95-8	
		Hexacosane	972	984	630-01-3	

Continuación del apéndice 8.

89	19,986	Borneol	115	927	507-70-0	0,05
		3,5-Dihydroxybenzoic acid	170	922	72963	
		3,5-Dihydroxybenzoic acid	170	915	72963	
90	20,016	Oleanoic acid, acetate	27	722	4339-72-4	0,05
		2-Methyl-4'-methoxy-benzophenone	36	714	41204-59-5	
		Methanone, (2-methoxyphenyl)(4-methylphenyl)-	34	695	28137-36-2	
91	20,636	Tetracosane	802	980	646-31-1	0,11
		Heneicosane	840	977	629-94-7	
		Eicosane	837	975	112-95-8	
92	20,797	2,7-Octadiene-1,6-diol, 2,6-dimethyl-, (Z)-	225	901	103619-06-3	0,05
		2-Oxecanone, 4-hydroxy-10-methyl-, [4R-(4R*, 10R*)]-	123	845	56020-70-3	
		2,7-Octadiene-1,6-diol, 2,6-dimethyl-, (E)-	175	834	75991-61-6	
93	21,132	1-Nonadecene	817	982	18435-45-5	0,09
		1-Docosene	824	977	1599-67-3	
		9-Hexacosene	817	977	71502-22-2	
94	21,292	Heneicosane	970	987	629-94-7	0,29
		Tetracosane	930	984	646-31-1	
		Tetracosane	964	981	646-31-1	
95	21,922	Tetracosane	417	941	646-31-1	0,04
		Tridecanol, 2-ethyl-2-methyl-	392	935		
		Hexacosane	426	931	630-01-3	
96	22,397	10-Chloro-1-decanol	149	968	51309-10-5	0,06
		10-Chloro-1-decanol	149	964	51309-10-5	
		10-Chloro-1-decanol	143	927	51309-10-5	
97	22,572	Tetracosane	668	970	646-31-1	0,08
		Nonadecane	661	957	629-92-5	
		Nonadecane, 2-methyl-	671	955	1560-86-7	
98	23,903	2,4,7,9-Tetramethyl-5-decyne-4,7-diol	67	940	126-86-3	0,04
		1-Cyclohexyl-1-(4-ethylcyclohexyl)ethane	105	868	2027-13-6	
		1H-Imidazole-2-methanol, 1-methyl-	73	868	17334-08-6	
99	24,998	5-Methoxy-6H-indolo[3,2,1-de][1,5]naphthyridin-6-one	26	809	15071-56-4	0,04
		2-Benzofuranacetic acid, à-(2-hydroxyphenyl)-, methyl ester	54	792	40800-99-5	
		Silane, 3,4-hexadien-1-yne-1,3,5,6-tetrayltetrakis(dimethyl-	72	791	61255-23-0	
100	28,244	11,12-Dihydroxyseychellane	58	856	55823-65-9	0,04
		1-Butanesulfonamide, 1,1,2,2,3,3,4,4,4-nonafluoro-N-methyl-	59	814	51735-83-2	
		Perfluorooctanonitrile	59	776	647-12-1	

Fuente: elaboración propia, empleando cromatógrafo de gases del Departamento de Toxicología de la Escuela de Química Farmacéutica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 9. **Cromatograma del aceite esencial de cardamomo de primera calidad con rendimiento de 2,46 % utilizando el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal**



Fuente: elaboración propia, empleando cromatógrafo de gases del Departamento de Toxicología de la Escuela de Química Farmacéutica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

**Apéndice 10. Composición química para el aceite esencial de
cardamomo, rendimiento 2,46 % (secado con secador
eléctrico de bandejas de flujo transversal)**

No.	Retención (min)	Compound Name	Match	R. Match	No. CAS	% Area
1	1,274	Methane, oxybis[dichloro-	933	978	20524-86-1	1,881
		Trichloromethane	968	968	67-66-3	
		Trichloromethane	880	968	67-66-3	
2	1,869	Hexanal	868	984	66-25-1	,026
		Hexanal	772	954	66-25-1	
		1,2-Diamino-2-methylpropane	595	951	811-93-8	
3	3,080	Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-	971	980	2867-05-2	,573
		Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-	958	978	2867-05-2	
		Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-	943	973	28634-89-1	
4	3,20	Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octane, 8-methylene-, (1à,2à, 4à,5à)-	441	973	38310-48-4	3,041
		(1R)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene	970	971	7785-70-8	
		3-Carene	957	971	13466-78-9	
5	3,415	Bicyclo[6.1.0]non-1-ene	666	964	2570-06-1	,155
		Camphene	955	962	79-92-5	
		Camphene	936	960	79-92-5	
6	3,765	Cyclohexene, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	893	975	99-84-3	4,408
		Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-	881	973	28634-89-1	
		à-Phellandrene	938	972	555-10-2	
7	3,820	Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	972	972	18172-67-3	,710
		à-Pinene	962	962	127-91-3	
		Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	949	955	18172-67-3	
8	3,955	Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	959	959	18172-67-3	2,341
		à-Pinene	956	956	127-91-3	
		Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	945	949	18172-67-3	
9	4,160	Octanal	984	988	124-13-0	,219
		Octanal	981	986	124-13-0	
		Octanal	962	983	124-13-0	
10	4,390	1,3-Cyclohexadiene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	958	970	99-86-5	,464
		Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	846	967	586-63-0	
		(+)-4-Carene	956	960	29050-33-7	
11	4,795	Eucalyptol	983	990	470-82-6	26,884
		Eucalyptol	979	982	470-82-6	
		Eucalyptol	970	980	470-82-6	
12	4,845	Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octane, 8-methylene-, (1à,2à, 4à,5à)-	462	961	38310-48-4	,214
		Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-methylene-	645	917	54211-14-2	
		3-Carene	889	900	13466-78-9	
13	5,040	Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octane, 8-methylene-, (1à,2à, 4à,5à)-	402	962	38310-48-4	,886
		ç-Terpinene	957	958	99-85-4	
		ç-Terpinene	947	948	99-85-4	
14	5,265	Bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol, 2-methyl-5-(1- methylethyl)-, (1à,2à,5à)-	968	969	15537-55-0	,232
		Bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol, 2-methyl-5-(1- methylethyl)-, (1à,2à,5à)-	936	952	17699-16-0	
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 7,7-dimethyl-2-methylene-	635	944	471-84-1	
15	5,451	Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-	966	982	586-62-9	,293
		Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	863	980	586-63-0	
		(+)-4-Carene	968	975	29050-33-7	

Continuación del apéndice 10.

16	5,536	Methyl 3-butynoate	232	857	32804-66-3	,047
		2,4-Octadiene	454	817	13643-08-8	
		4-Cyclopropylcyclohexene	466	798	80105-51-7	
17	5,776	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	964	965	78-70-6	2,548
		1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	958	958	78-70-6	
		1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	953	953	78-70-6	
18	5,866	4-Methyl-1,5-Heptadiene	725	846	998-94-7	,319
		Geranyl nitrile	785	813	101660-61-1	
		6-Methyl-triazolo(4,3-b)(1,2,4)-triazine	178	809	61139-69-3	
19	6,136	Bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-, (1à,2à,5à)-	942	948	17699-16-0	,042
		3-Carene	727	940	13466-78-9	
		Cyclohexene, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	700	939	99-84-3	
20	6,441	3-Carene	703	918	13466-78-9	,045
		Cyclohexene, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	669	908	99-84-3	
		ç-Terpinene	664	903	99-85-4	
21	6,881	7-Octen-2-ol, 2-methyl-6-methylene-	838	889	543-39-5	,027
		(E)-2-Butenylcyclopropane	337	867	76588-98-2	
		5,7-Octadien-2-ol, 2,6-dimethyl-	822	856	5986-38-9	
22	7,026	Terpinen-4-ol	976	978	562-74-3	,905
		3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-, (R)-	974	975	20126-76-5	
		Terpinen-4-ol	964	975	562-74-3	
23	7,186	cis-4-Decenal	918	927	21662-09-9	,050
		cis-4-Decenal	913	919	21662-09-9	
		Furan, 2,3-dihydro-5-methyl-	485	911	1487-15-6	
24	7,276	à-Terpineol	969	972	98-55-5	1,018
		L-à-Terpineol	970	970	10482-56-1	
		à-Terpineol	961	961	98-55-5	
25	7,516	ç-Terpinene	892	971	99-85-4	,309
		4-Terpinenyl acetate	944	967	1066974	
		3-Carene	900	966	13466-78-9	
26	7,896	2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)-	977	978	106-26-3	,182
		2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)-	970	970	106-26-3	
		Citral	878	953	5392-40-5	
27	8,067	Linalyl acetate	949	951	115-95-7	4,172
		3-Carene	871	950	13466-78-9	
		â-Ocimene	861	948	13877-91-3	
28	8,162	3-Methylnon-1-yn-3-ol	572	955	1289310	1,249
		2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-	950	952	624-15-7	
		Geraniol	948	951	106-24-1	
29	8,347	2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)-	969	970	141-27-5	,381
		Citral	968	968	5392-40-5	
		Citral	947	968	5392-40-5	
30	8,572	Bicyclo[5.1.0]octane, 8-methylene-	477	915	54211-15-3	,233
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 2-chloro-2,3,3-trimethyl-	848	910	465-30-5	
		Bicyclo[6.1.0]non-1-ene	485	910	244866	

Continuación apéndice 10.

31	8,672	3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate	930	940	80-26-2	,415
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2-dimethyl-3-methylene-, (1S)-	864	925	1422353	
		Cyclohexanol, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, acetate	840	919	10198-23-9	
32	8,797	3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate	939	959	80-26-2	,804
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2-dimethyl-3-methylene-, (1S)-	881	948	1422353	
		3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate	916	932	80-26-2	
33	8,902	3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate	930	940	80-26-2	1,290
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2-dimethyl-3-methylene-, (1S)-	885	932	5794-04-7	
		Camphene	900	925	79-92-5	
34	9,012	Bicyclo[2.2.1]heptane, 7,7-dimethyl-2-methylene-	782	939	471-84-1	2,182
		Cyclohexane, 1-methylene-4-(1-methylethenyl)-	817	936	499-97-8	
		Cyclohexane, 1-methylene-4-(1-methylethenyl)-	857	920	499-97-8	
35	9,717	3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate	950	973	80-26-2	27,721
		3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate	935	951	80-26-2	
		3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate	930	947	80-26-2	
36	9,777	Disulfide, ethyl isopentyl	247	928	72437-60-6	,145
		Eugenol	412	861	97-53-0	
		Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-	404	845	97-54-1	
37	9,947	4-Hexen-1-ol, 5-methyl-2-(1-methylethenyl)-, acetate	973	976	25905-14-0	,948
		2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate, (Z)-	968	969	141-12-8	
		2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate, (Z)-	953	954	141-12-8	
38	10,057	Cyclohexane, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, trans-	746	904	1124-25-0	,072
		(Z)-Dec-4-enyl ethyl carbonate	860	899		
		Cyclodecene, (Z)-	853	897	935-31-9	
39	10,117	cis-Dodec-5-enal	889	945	68820-33-7	,065
		trans-Dodec-5-enal	868	923	68820-34-8	
		6-Nonenal, (E)-	809	911	2277-20-5	
40	10,147	1,5-Cyclodecadiene, 1,5-dimethyl-8-(1-methylethenyl)-, [S-(Z,E)]-	735	804	75023-40-4	,099
		à-Guaiene	783	796	654486	
		7à-Ethyl-8à-hydroxy-2,6-dimethylbicyclo[4.4.0]dec-1-ene	526	789		
41	10,337	Cyclopropane, 1,1-diethyl-	304	906	1003-19-6	,063
		Cyclooctane, methyl-	475	897	1502-38-1	
		Heptane, 4-methylene-	299	891	15918-08-8	
42	10,578	Caryophyllene	957	971	87-44-5	,060
		Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-8-methylene-, [1R-(1R*,4Z,9S*)]-	948	965	118-65-0	
		Caryophyllene	951	963	87-44-5	
43	10,678	1,5-Cyclodecadiene, 1,5-dimethyl-8-(1-methylethylidene)-, (E,E)-	899	971	15423-57-1	,063
		ç-Elemene	894	971	29873-99-2	
		ç-Elemene	927	953	29873-99-2	
44	10,718	3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, propanoate	891	891	80-27-3	,149
		Cyclopenta[c]pyran-1,3-dione, 4,4a,5,6-tetrahydro-4,7-dimethyl-	473	884	66407-26-9	
		Cyclohexene, 1-methyl-5-(1-methylethenyl)-, (R)-	736	883	1461-27-4	
45	10,958	1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1-methylethyl)-, [S-(E,E)]-	822	946	23986-74-5	,134
		Aromandendrene	890	937	489-39-4	
		Alloaromadendrene	890	937	25246-27-9	

Continuación apéndice 10.

46	11,173	Butanoic acid, 2-methyl-, 3,7-dimethyl-2,6- octadienyl ester, (E)-	456	949	68705-63-5	,141
		2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, propanoate, (E)-	804	878	105-90-8	
		3-Hydroxycapric acid	446	867	5561-87-5	
47	11,403	1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1- methylethyl)-, [S-(E,E)]-	903	975	23986-74-5	,120
		1H-Cyclopenta[1,3]cyclopropa[1,2]benzene, octahydro-7-methyl-3-methylene-4-(1-methylethyl)-, [3aS-(3aà,3bà,4à,7à,7aS*)]-	908	943	13744-15-5	
		1H-Cyclopenta[1,3]cyclopropa[1,2]benzene, octahydro-7-methyl-3-methylene-4-(1-methylethyl)-, [3aS-(3aà,3bà,4à,7à,7aS*)]-	921	940	13744-15-5	
48	11,453	Benzenesulfinio-p-toluidide	172	820	5469-22-7	,049
		4-Methylcatechol	241	774	452-86-8	
		(-)-Norepinephrine	170	774	51-41-2	
49	11,523	Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7- (1-methylethyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aà)]-	964	982	17066-67-0	,635
		Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7- (1-methylethyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aà)]-	956	975	17066-67-0	
		Bicyclo[6.1.0]non-1-ene	439	957	244866	
50	11,608	Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-4a,8- dimethyl-2-(1-methylethyl)-, [2R-(2à,4aà,8aà)]-	943	955	473-13-2	,217
		2-Isopropenyl-4a,8-dimethyl-1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydronaphthalene	938	949		
		2-Isopropenyl-4a,8-dimethyl-1,2,3,4,4a,5,6,7-octahydronaphthalene	932	946		
51	11,683	Naphthalene, 1,2,4a,5,8,8a-hexahydro-4,7- dimethyl-1-(1-methylethyl)-, [1S-(1à,4aà,8aà)]-	849	874	523-47-7	,050
		Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-	825	869	483-76-1	
		Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-	808	867	483-76-1	
52	11,818	Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7- methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-, (1à,4aà,8aà)-	969	978	39029-41-9	,322
		1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1- methylethyl)-, [S-(E,E)]-	882	978	23986-74-5	
		ç-Murolene	958	974	30021-74-0	
53	11,923	(2S,6R,7S,8E)-(+)-2,7-Epoxy-4,8-megastigmadiene	381	880	108342-25-2	,041
		Phenol, 3,5-dimethyl-, methylcarbamate	440	831	2655-14-3	
		Phenol, 3,4-dimethyl-, acetate	398	822	22618-23-1	
54	12,083	à-Cubebene	861	947	17699-14-8	,066
		1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1- methylethyl)-, [S-(E,E)]-	834	945	23986-74-5	
		cis-murola-4(14),5-diene	707	943		
55	12,448	1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-, (E)-	956	966	40716-66-3	2,195
		1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-	958	958	7212-44-4	
		3,7,11-Trimethyl-3-hydroxy-6,10-dodecadien-1-yl acetate	666	956		
56	12,538	4-Penten-1-ol	498	950	821-09-0	,264
		3-Methyl-2-buten-1-ol	497	948	556-82-1	
		2-Methyl-3-buten-2-ol	496	946	115-18-4	
57	12,723	5-Dodecen-1-ol, acetate, (Z)-	948	965	16676-96-3	,10
		8-Dodecen-1-ol, acetate, (Z)-	880	962	28079-04-1	
		1,7-Dodecadiene	917	954		
58	12,843	Dihydro-cis-à-copaene-8-ol	332	984	58569-27-0	,151
		Glycerol 1-stearate	353	968	11099-07-3	
		Glycerol 1-stearate	348	947	11099-07-3	
59	12,993	Silane, trichloro(2-methyl-2-butenyl)-	170	924	18163-57-0	,039
		Tri-tert-butylphosphine	244	895	13716-12-6	
		Tri-tert-butylphosphine	240	879	13716-12-6	

Continuación apéndice 10.

60	13,264	1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1-methylethyl)-, [S-(E,E)]-	831	967	23986-74-5	,117
		Naphthalene, 1,2,4a,5,6,8a-hexahydro-4,7- dimethyl-1-(1-methylethyl)-	868	956	483-75-0	
		ç-Muurolene	903	952	30021-74-0	
61	13,409	2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	439	953		,057
		1,3,3-Trimethyl-2-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexene	363	945		
		3-Methyl-2-(2-oxopropyl)furan	405	920	87773-62-4	
62	13,494	Silabenzene,1-methyl-	130	966	63878-65-9	,101
		1,2-Cyclooctadiene	180	942	7124-40-5	
		1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexane	286	928		
63	13,634	1,3-Methanopentalene, octahydro-	332	883	13913-22-9	,052
		(-)-Isolongifolol	428	865	1139-17-9	
		cis,cis,cis-7,10,13-Hexadecatrienal	684	859	56797-43-4	
64	13,819	Dihydro-cis-à-copaene-8-ol	339	954	58569-27-0	,111
		Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7- (1-methylethenyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aà)]-	729	940	17066-67-0	
		1H-3a,7-Methanoazulene, octahydro-1,9,9- trimethyl-4-methylene-, (1à,3aà,7à,8aà)-	715	939	508-55-4	
65	13,949	photocitral B	407	940	6040-45-5	,050
		1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2- hydroperfluorobutanoate	252	920		
		(-)-Isolongifolol	554	911	1139-17-9	
66	14,064	Heptadecane	916	965	629-78-7	,103
		Hexadecane	910	963	544-76-3	
		Tetradecane	896	963	629-59-4	
67	14,264	2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	488	941		,148
		1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexane	454	935		
		2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-	856	930	19317-11-4	
68	14,354	cis-à-Farnesene	827	968	28973-97-9	,528
		2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-, (Z,E)-	936	950	3790-71-4	
		1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexane	586	950		
69	14,584	2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-	945	989	19317-11-4	,258
		2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-, (E,E)-	938	983	502-67-0	
		2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-, (Z,E)-	946	981	4380-32-9	
70	14,759	Seleno-L-methionine	200	950	3211-76-5	,052
		2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-9- (phenylsulfonyl)-, (E,E)-	419	925	57683-67-7	
		(-)-Isolongifolol	447	923	1139-17-9	
71	15,219	Octadecane	960	981	593-45-3	,057
		Octadecane	960	978	593-45-3	
		Heptadecane	948	978	629-78-7	
72	15,289	Dodecane, 2,6,10-trimethyl-	763	959	3891-98-3	,032
		Tetracosane	747	945	646-31-1	
		Nonadecane	751	935	629-92-5	
73	15,429	1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2- hydroperfluorobutanoate	272	929		,650
		(-)-Isolongifolol	487	924	1139-17-9	
		2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	436	922		
74	15,630	1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexane	544	956		,157
		2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-, acetate, (E,E)-	904	954	4128-17-0	
		cis-à-Farnesene	780	951	28973-97-9	

Continuación apéndice 10.

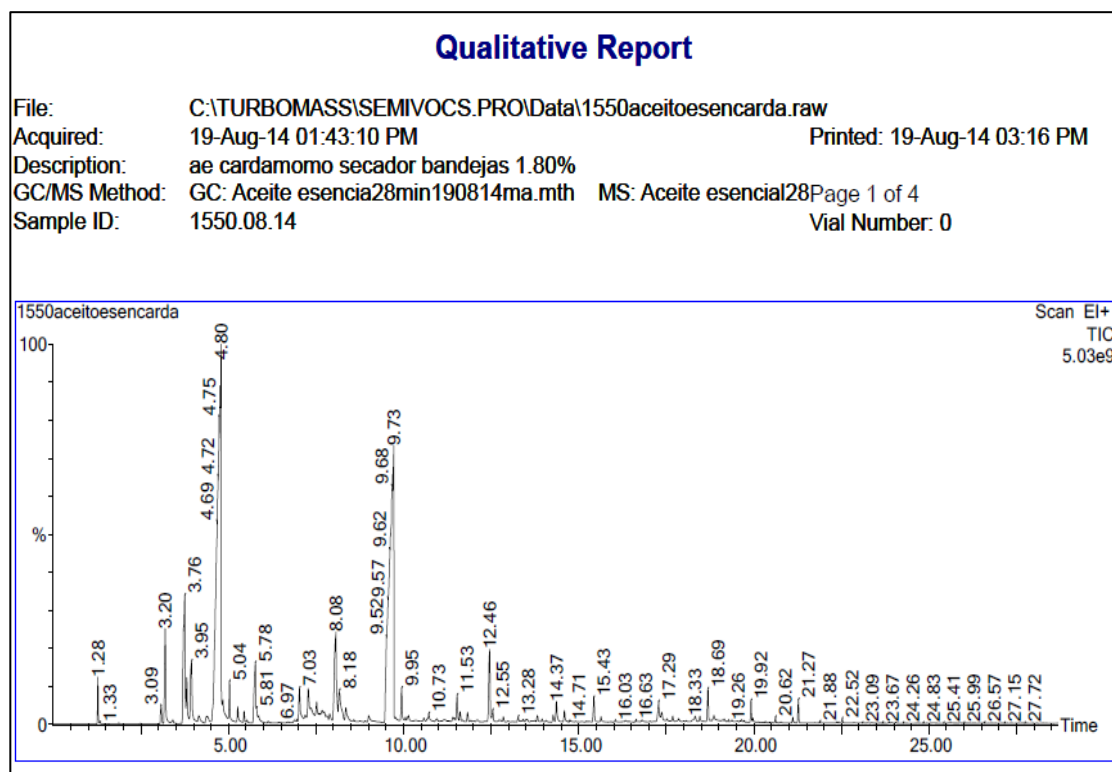
75	15,710	Pentanal, 2-methyl-	301	951	123-15-9	,038
		1-Propene, 3-propoxy-	320	869	1471-03-0	
		D-(+)-Arabitol	211	834	488-82-4	
76	16,325	Heptadecane	955	969	629-78-7	,089
		Heptadecane	951	969	629-78-7	
		Eicosane	954	968	112-95-8	
77	16,615	Hexadecanoic acid, methyl ester	742	948	112-39-0	,032
		Tridecanoic acid, methyl ester	686	934	1731-88-0	
		Dodecanoic acid, 2-methyl-	655	934	2874-74-0	
78	16,70	2,10-Bornanediol, exo-	548	870	1925-39-9	,035
		(1,2,2-trimethyl-3-cyclopenten-1-yl)acetaldehyde	315	865		
		(-)-Isolongifolol	361	832	1139-17-9	
79	16,805	L-Histidinol	225	936	4836-52-6	,120
		2-Methoxy-5-methylphenol	204	934	1195-09-1	
		2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-9-(phenylsulfonyl)-, (E,E)-	381	924	57683-67-7	
80	17,040	2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	434	946		,028
		1,3,3-Trimethyl-2-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexene	400	946		
		3-Cyclohexene-1-methanol, à,4-dimethyl-à-(4-methyl-3-pentenyl)-, [R-(R*,R*)]-	600	937	23178-88-3	
81	17,265	10-Chloro-1-decanol	267	991	51309-10-5	,489
		n-Hexadecanoic acid	946	967	57621	
		1-Decanol, 2-hexyl-	474	957	2425-77-6	
82	17,365	2,4,7,9-Tetramethyl-5-decyne-4,7-diol	241	893	126-86-3	,287
		2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	421	884		
		1-Formyl-2,2,6-trimethyl-3-cis-(3-methylbut-2-enyl)-5-cyclohexene	442	882		
83	17,515	3,5-Dihydroxybenzyl alcohol	147	968	29654-55-5	,040
		O-Trifluoroacetyl-isopulegol	510	945	28587-54-4	
		photocitral A	252	933	55253-28-6	
84	17,675	1,6,10,14-Hexadecatetraen-3-ol, 3,7,11,15-tetramethyl-, (E,E)-	963	966	1113-21-9	,119
		2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	645	961		
		(E,E)-7,11,15-Trimethyl-3-methylene-hexadeca-1,6,10,14-tetraene	920	957	70901-63-2	
85	17,840	1-Oxaspiro[2.5]oct-5-ene, 8,8-dimethyl-4-methylene-	213	959	54345-60-7	,096
		5,6-Decadien-3-yne, 5,7-diethyl-	265	943	61227-89-2	
		9,11-Octadecadiynoic acid, 8-oxo-, methyl ester	174	936	75125-35-8	
86	18,316	Tetracosane	554	962	646-31-1	,228
		photocitral B	260	959	6040-45-5	
		Glycerol 1-stearate	476	952	11099-07-3	
87	18,456	Phytol	945	962	150-86-7	,136
		3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	909	956	102608-53-7	
		Phytol, acetate	930	948		
88	18,681	15-Deoxy-.DELTA.12,14-prostaglandin J2	371	936	87893-55-8	,757
		15(S)-Hydroxy-(5Z,8Z,11Z,13E)-eicosatetraenoic acid	357	923	54845-95-3	
		9-cis-Retinoic acid	571	922	1241893	
89	18,856	2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	388	953		,156
		Cyclohexanecarboxaldehyde, 4-(hydroxymethyl)-	472	947	92385-32-5	
		photocitral B	369	939	6040-45-5	

Continuación apéndice 10.

90	19,151	Heptadecane	917	963	629-78-7	,047
		Tetracosane	903	959	646-31-1	
		Heneicosane	912	958	629-94-7	
91	19,366	1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexane	242	932		,040
		1-Formyl-2,2,6-trimethyl-3-cis-(3-methylbut-2-enyl)-5-cyclohexene	272	917		
		1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2-hydroperfluorobutanoate	147	910		
92	19,641	1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2-hydroperfluorobutanoate	210	935		,056
		(ñ)-Lavandulol	277	908	58461-27-1	
		(-)-Isolongifolol	372	907	1139-17-9	
93	19,716	Phytol	631	968	7541-49-3	,029
		1-Nonadecene	929	967	18435-45-5	
		1-Docosene	931	963	1599-67-3	
94	19,911	Heneicosane	984	990	629-94-7	,347
		Eicosane	975	982	112-95-8	
		Heneicosane	969	982	629-94-7	
95	19,966	3,5-Dihydroxybenzoic acid	213	908	72963	,083
		3,5-Dihydroxybenzoic acid	210	898	72963	
		2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	345	885		
96	20,607	Heneicosane	972	982	629-94-7	,090
		Tetracosane	945	980	646-31-1	
		Heneicosane	962	977	629-94-7	
97	21,102	1-Nonadecene	975	980	18435-45-5	,089
		1-Nonadecene	953	980	18435-45-5	
		1-Eicosanol	968	979	629-96-9	
98	21,257	Heneicosane	984	988	629-94-7	,344
		Eicosane	976	982	112-95-8	
		Hexacosane	979	981	630-01-3	
99	22,502	Tetracosane	944	977	646-31-1	,059
		Nonadecane	947	973	629-92-5	
		Heneicosane	964	972	629-94-7	
100	23,838	10-Heneicosene (c,t)	903	948	95008-11-0	,027
		1-Eicosanol	906	947	629-96-9	
		2-Heptadecenal	751	941		

Fuente: elaboración propia, empleando cromatógrafo de gases del Departamento de Toxicología de la Escuela de Química Farmacéutica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 11. **Cromatograma del aceite esencial de cardamomo de primera calidad con rendimiento de 1,80 % utilizando el secador eléctrico de bandejas de flujo transversal**



Fuente: elaboración propia, empleando cromatógrafo de gases del Departamento de Toxicología de la Escuela de Química Farmacéutica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

**Apéndice 12. Composición química para el aceite esencial de
cardamomo, rendimiento 1,80 % (secado con secador
eléctrico de bandejas de flujo transversal)**

No	Retención (min)	Compound Name	Match	R.Match	CAS	Área %
1	1,284	Trichloromethane	978	978	67-66-3	,766
		Methane, oxybis[dichloro-	942	978	20524-86-1	
		Trichloromethane	976	976	67-66-3	
2	3,090	Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-	973	979	353313	,487
		Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-	961	977	353313	
		Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-	946	970	28634-89-1	
3	3,205	3-Carene	967	979	13466-78-9	2,811
		Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,3,3-trimethyl-	966	976	488-97-1	
		Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octane, 8-methylene-, (1à,2à,4à,5à)-	436	975	38310-48-4	
4	3,425	Camphene	985	985	79-92-5	,102
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2-dimethyl-3-methylene-, (1S)-	972	979	1422353	
		Camphene	975	975	79-92-5	
5	3,765	Cyclohexene, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	902	976	99-84-3	4,505
		à-Phellandrene	942	974	555-10-2	
		à-Phellandrene	964	970	555-10-2	
6	3,820	Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	971	971	18172-67-3	,687
		Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	962	971	18172-67-3	
		à-Pinene	967	967	127-91-3	
7	3,950	Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	960	960	18172-67-3	2,098
		à-Pinene	956	956	127-91-3	
		Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	941	946	18172-67-3	
8	4,160	Octanal	987	988	124-13-0	,255
		Octanal	985	986	124-13-0	
		Octanal	957	978	124-13-0	
9	4,405	1,3-Cyclohexadiene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	956	971	99-86-5	,383
		Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	848	971	586-63-0	
		(+)-4-Carene	952	957	29050-33-7	
10	4,795	Eucalyptol	984	991	470-82-6	30,662
		Eucalyptol	975	985	470-82-6	
		Eucalyptol	981	984	470-82-6	
11	4,850	Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octane, 8-methylene-, (1à,2à,4à,5à)-	472	966	38310-48-4	,244
		3-Carene	903	918	13466-78-9	
		Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-methylene-	608	889	54211-14-2	
12	5,040	Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octane, 8-methylene-, (1à,2à,4à,5à)-	419	973	38310-48-4	,721
		ç-Terpinene	965	966	99-85-4	
		ç-Terpinene	963	964	99-85-4	
13	5,275	Bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-, (1à,2à,5à)-	974	977	15537-55-0	,360
		Bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-, (1à,2à,5à)-	930	951	17699-16-0	
		1-Methylene-2-vinylcyclopentane	368	943	6196-78-7	
14	5,456	(+)-4-Carene	964	972	29050-33-7	,235
		Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-	955	972	586-62-9	
		(+)-2-Carene	962	963		
15	5,536	7-Oxabicyclo[2.2.1]heptane	401	914	279-49-2	,060
		2-Isopropylmalic acid	276	903	3237-44-3	
		7-Oxabicyclo[2.2.1]heptane	396	902	279-49-2	

Continuación del apéndice 12.

16	5,776	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	961	962	78-70-6	2,579
		1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	953	954	78-70-6	
		1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	949	949	78-70-6	
17	5,871	4-Methylcatechol	663	852	452-86-8	,302
		2-Cyclohexen-1-one, 3-methyl-6-(1-methylethenyl)-	146	826	529-01-1	
		4-Methyl-1,5-Heptadiene	709	814	998-94-7	
18	6,146	Bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-, (1à,2à,5à)-	929	947	17699-16-0	,048
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2-dimethyl-3-methylene-, (1R)-	728	930	1422321	
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 7,7-dimethyl-2-methylene-	654	926	471-84-1	
19	6,711	Bicyclo[5.1.0]octane, 8-methylene-	486	948	54211-15-3	,047
		Bicyclo[6.1.0]non-1-ene	521	940	244866	
		Bicyclo[5.2.0]non-1-ene	512	923	65811-17-8	
20	6,891	L-à-Terpineol	923	930	10482-56-1	,067
		à-Terpineol	919	928	98-55-5	
		à-Terpineol	923	925	98-55-5	
21	7,031	3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-, (R)-	974	976	20126-76-5	,996
		Terpinen-4-ol	973	976	562-74-3	
		3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-, (R)-	955	974	20126-76-5	
22	7,201	4-Heptenal, (E)-	343	930	929-22-6	,085
		Bicyclo[3.2.0]heptane, trans	356	906	5597-72-8	
		(E)-2-Butenylcyclopropane	334	906	76588-98-2	
23	7,286	à-Terpineol	968	971	98-55-5	1,366
		L-à-Terpineol	970	970	10482-56-1	
		à-Terpineol	956	957	98-55-5	
24	7,526	4-Terpinenyl acetate	921	942	1066974	,40
		4-Terpinenyl acetate	919	940	1066974	
		Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	818	930	586-63-0	
25	7,576	Amantadine	263	832	768-94-5	,072
		2-Dimethylamino-3-methylpyridine	573	766	61713-46-0	
		Pyrazine, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-	448	762	13925-05-8	
26	7,616	Purine	391	841	120-73-0	,060
		Purine	389	836	120-73-0	
		Purine	382	820	120-73-0	
27	7,691	Bicyclo[5.1.0]octane, 8-methylene-	479	898	54211-15-3	,342
		3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate	872	888	80-26-2	
		(-)-Isolongifolol	343	886	1139-17-9	
28	7,741	Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octane, 8-methylene-, (1à,2à,4à,5à)-	286	879	38310-48-4	,186
		à-Ocimene	673	788	13877-91-3	
		Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-methylene-	404	774	54211-14-2	
29	7,816	Methyl 4-hydroxybenzoate	423	822	99-76-3	,113
		Methyl 4-hydroxybenzoate	408	808	99-76-3	
		3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate	760	807	80-26-2	
30	7,897	2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)-	930	930	106-26-3	,166
		Citral	861	928	5392-40-5	
		2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)-	925	927	106-26-3	

Continuación del apéndice 12.

31	8,077	Linalyl acetate	949	950	115-95-7	4,301
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 7,7-dimethyl-2-methylene-	831	947	471-84-1	
		3-Carene	867	945	13466-78-9	
32	8,177	Geraniol	965	969	106-24-1	1,513
		3-Methylnon-1-yn-3-ol	568	964	1289310	
		2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-	961	963	624-15-7	
33	8,362	2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)-	962	963	141-27-5	,456
		Citral	957	957	5392-40-5	
		3,7-Nonadien-2-one, 8-methyl-, (E)-	702	957	35408-14-1	
34	8,587	Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, acetate, (1S-endo)-	896	918	5655-61-8	,039
		Bornyl acetate	830	918	76-49-3	
		Bornyl acetate	891	915	76-49-3	
35	8,767	Cyclohexene, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	521	883	99-84-3	,068
		3-Carene	564	881	13466-78-9	
		Cyclopropane, (R,R)-1-((Z),(Z)-hexa-1',3'-dienyl)-2-ethenyl-	245	881	77210-41-4	
36	9,012	Cyclohexane, 1-methylene-4-(1-methylethenyl)-	809	968	499-97-8	,382
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 7,7-dimethyl-2-methylene-	761	958	471-84-1	
		Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-methylene-	454	955	54211-14-2	
37	9,727	3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate	952	975	80-26-2	26,930
		3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate	940	954	80-26-2	
		3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate	932	953	80-26-2	
38	9,952	4-Hexen-1-ol, 5-methyl-2-(1-methylethenyl)-, acetate	977	980	25905-14-0	,791
		2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate, (Z)-	978	979	141-12-8	
		2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate, (Z)-	967	968	141-12-8	
39	10,057	(Z)-Dec-4-enyl ethyl carbonate	860	897		,053
		5-Decen-1-ol, acetate, (E)-	869	892	38421-90-8	
		Cyclohexane, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, trans-	732	887	1124-25-0	
40	10,152	Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1-methylethenyl)-, [1S-(1à,2à,4à)]-	940	952	515-13-9	,161
		Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1-methylethenyl)-, [1S-(1à,2à,4à)]-	932	947	515-13-9	
		1,5-Cyclodecadiene, 1,5-dimethyl-8-(1-methylethenyl)-, [S-(Z,E)]-	836	939	75023-40-4	
41	10,358	3-Ureidopropionic acid	225	864	462-88-4	,042
		3-Ureidopropionic acid	211	849	462-88-4	
		Val-Met-Lys	199	848		
42	10,588	Caryophyllene	970	976	87-44-5	,079
		Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-8-methylene-, [1R-(1R*,4Z,9S*)]-	962	970	118-65-0	
		Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-8-methylene-	960	968	13877-93-5	
43	10,728	3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, propanoate	945	948	80-27-3	,287
		2-Methylbicyclo[4.3.0]non-1(6)-ene	790	910	60223-07-6	
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 7,7-dimethyl-2-methylene-	724	910	471-84-1	
44	10,963	Aromandendrene	842	923	489-39-4	,103
		1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1-methylethyl)-, [S-(E,E)]-	755	919	23986-74-5	
		Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7- (1-methylethenyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aà)]-	753	919	17066-67-0	
45	11,178	Butanoic acid, 2-methyl-, 3,7-dimethyl-2,6- octadienyl ester, (E)-	441	933	68705-63-5	,117
		2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, propanoate, (E)-	737	875	105-90-8	
		Cyclohexanemethyl propanoate	268	859	2890-67-7	

Continuación del apéndice 12.

46	11,413	1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1-methylethyl)-, [S-(E,E)]-	881	966	23986-74-5	,107
		1H-Cyclopenta[1,3]cyclopropa[1,2]benzene, octahydro-7-methyl-3-methylene-4-(1-methylethyl)-, [3aS-(3aà,3bà,4à,7à,7aS*)]-	902	947	13744-15-5	
		1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1-methylethyl)-, [S-(E,E)]-	875	946	23986-74-5	
47	11,463	3-Cyclohexeneethanol, á,4-dimethyl-, 4-methylbenzenesulfonate	278	719	54965-15-0	,070
		3-(4-Hydroxyphenyl)propionic acid	280	701	501-97-3	
		Methyl 4-hydroxybenzoate	219	701	99-76-3	
48	11,533	Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7-(1-methylethenyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aà)]-	962	983	17066-67-0	,654
		Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7-(1-methylethenyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aà)]-	956	977	17066-67-0	
		Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7-(1-methylethenyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aà)]-	953	960	17066-67-0	
49	11,618	Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-4a,8-dimethyl-2-(1-methylethenyl)-, [2R-(2à,4aà,8aà)]-	950	960	473-13-2	,209
		2-Isopropenyl-4a,8-dimethyl-1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydronaphthalene	943	951		
		2-Isopropenyl-4a,8-dimethyl-1,2,3,4,4a,5,6,7-octahydronaphthalene	938	949		
50	11,833	Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-, (1à,4aà,8aà)-	968	979	39029-41-9	,233
		ç-Murolene	961	976	30021-74-0	
		1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1-methylethyl)-, [S-(E,E)]-	888	975	23986-74-5	
51	11,933	7-epi-à-selinene	647	938		,044
		7-epi-à-eudesmol	526	876	123123-38-6	
		(2S,6R,7S,8E)-(+)-2,7-Epoxy-4,8-megastigmadiene	371	862	108342-25-2	
52	12,098	cis-murola-4(14),5-diene	602	928		,081
		Ibuprofen	313	923	15687-27-1	
		Benzoic acid, 3-methyl-, 2-oxo-2-phenylethyl ester	242	893	55153-20-3	
53	12,458	1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-, (E)-	959	968	40716-66-3	2,396
		1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-	961	961	7212-44-4	
		3,7,11-Trimethyl-3-hydroxy-6,10-dodecadien-1-yl acetate	681	956		
54	12,548	4-Penten-1-ol	522	953	821-09-0	,321
		3-Methyl-2-buten-1-ol	520	950	556-82-1	
		2-Methyl-3-buten-2-ol	519	949	115-18-4	
55	12,728	8-Dodecen-1-ol, acetate, (Z)-	822	961	28079-04-1	,091
		1,5-Dodecadiene	891	960		
		5-Dodecen-1-ol, acetate, (Z)-	911	947	16676-96-3	
56	12,854	Naphthalene, 1,2,3,5,6,7,8,8a-octahydro-1,8a-dimethyl-7-(1-methylethenyl)-, [1R-(1à,7à,8aà)]-	697	940	997297	,118
		Selina-3,7(11)-diene	500	931	6813-21-4	
		5,6-Decadien-3-yne, 5,7-diethyl-	344	924	61227-89-2	
57	12,999	2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-9-(phenylsulfonyl)-, (E,E)-	335	879	57683-67-7	,033
		Tri-tert-butylphosphine	258	879	13716-12-6	
		Acetic acid, trifluoro-, 3,4-dimethylphenyl ester	271	876	1957-55-7	
58	13,279	1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1-methylethyl)-, [S-(E,E)]-	817	961	23986-74-5	,112
		4-epi-cubedol	938	957		
		cubedol	928	948		
59	13,424	photocitral B	318	931	6040-45-5	,044
		2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	451	925		
		1,3,3-Trimethyl-2-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexene	375	911		

Continuación del apéndice 12.

60	13,534	1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexane	369	939		,117
		2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	417	931		
		3-Cyclohexene-1-methanol, à,4-dimethyl-à-(4-methyl-3-pentenyl)-, [R-(R*,R*)]-	542	912	23178-88-3	
61	13,654	Bicyclo[5.1.0]octane, 8-methylene-	511	907	54211-15-3	,056
		trans,cis-1,8-Dimethylspiro[4.5]decane	236	902		
		trans,trans-1,8-Dimethylspiro[4.5]decane	235	895		
62	13,829	1-Naphthalenol, decahydro-1,4a-dimethyl-7-(1-methylethylidene)-, [1R-(1à,4aà,8aà)]-	902	942	473-04-1	,149
		(2S,4R)-p-Mentha-[1(7),8]-diene 2-hydroperoxide	455	942		
		Viridiflorol	768	935		
63	13,959	photocitral B	388	935	6040-45-5	,063
		1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2- hydroperfluorobutanoate	248	933		
		Cyclohexanol, 4-ethyl-4-methyl-3-(1-methylethyl)-, (1à,3à,4à)-	284	904	55869-53-9	
64	14,074	Heptadecane	829	947	629-78-7	,057
		Dodecane	761	936	112-40-3	
		Hexadecane	811	935	544-76-3	
65	14,274	2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	496	951		,173
		1-Formyl-2,2-dimethyl-3-trans-(3-methyl-but-2-enyl)-6-methylidene-cyclohexane	507	947		
		1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexane	456	939		
66	14,369	cis-à-Farnesene	823	963	28973-97-9	,570
		2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-, acetate, (E,E)-	933	957	4128-17-0	
		2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-, (Z,E)-	945	956	3790-71-4	
67	14,594	2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-	951	992	19317-11-4	,323
		2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-, (E,E)-	944	986	502-67-0	
		2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-, (Z,E)-	950	985	4380-32-9	
68	14,774	4-Hydroxy-3-methylbenzoic acid	220	907	499-76-3	,045
		photocitral A	187	898	55253-28-6	
		4-Hydroxy-3-methylbenzoic acid	214	892	499-76-3	
69	15,435	1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2- hydroperfluorobutanoate	280	939		,675
		(-)-Isolongifolol	486	922	1139-17-9	
		2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	433	919		
70	15,645	2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-, acetate, (E,E)-	918	964	4128-17-0	,141
		1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexane	552	952		
		à-Bisabolene	909	946	495-61-4	
71	16,340	Nonadecane	870	978	629-92-5	,071
		Tetradecane	846	969	629-59-4	
		Heptadecane	865	967	629-78-7	
72	16,445	1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexane	358	894		,038
		1,3,3-Trimethyl-2-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexene	358	894		
		(-)-Isolongifolol	415	891	1139-17-9	
73	16,710	2R-Acetoxymethyl-1,3,5-trimethyl-4c-(3-methyl-2-buten-1-yl)-1c-cyclohexanol	304	870		,037
		2R-Acetoxymethyl-1,3,3-trimethyl-4t-(3-methyl-2-buten-1-yl)-1t-cyclohexanol	281	855		
		2-(2-Hydroxycyclooctyl)-furan	292	851	115754-90-0	

Continuación del apéndice 12.

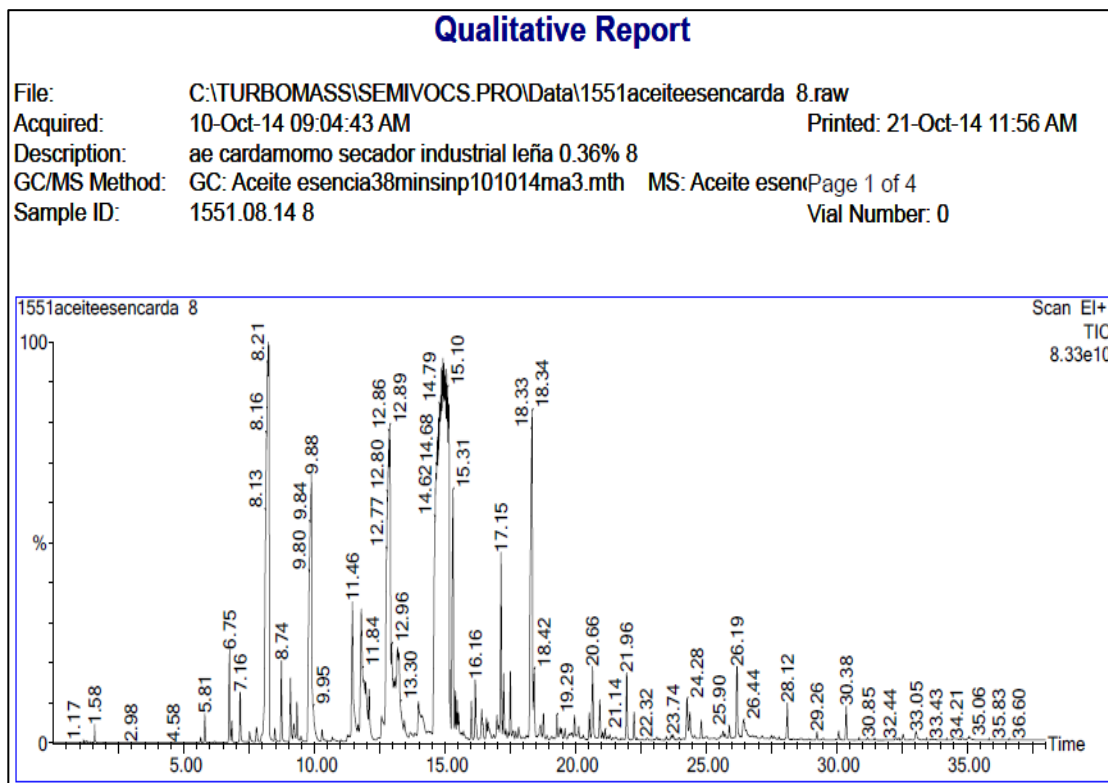
73	16,710	2R-Acetoxymethyl-1,3,5-trimethyl-4c-(3-methyl-2- buten-1-yl)-1c-cyclohexanol	304	870		,037
		2R-Acetoxymethyl-1,3,3-trimethyl-4t-(3-methyl-2- buten-1-yl)-1t-cyclohexanol	281	855		
		2-(2-Hydroxycyclooctyl)-furan	292	851	115754-90-0	
74	16,815	2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-9-(phenylsulfonyl)-, (E,E)-	390	928	57683-67-7	,104
		(-)-Isolongifolol	503	926	1139-17-9	
		2R-Acetoxymethyl-1,3,3-trimethyl-4t-(3-methyl-2- buten-1-yl)-1t-cyclohexanol	420	915		
75	17,285	10-Chloro-1-decanol	266	992	51309-10-5	,698
		n-Hexadecanoic acid	957	973	57621	
		1-Decanol, 2-hexyl-	465	960	2425-77-6	
76	17,370	2-Cyclopentene-1-acetaldehyde, 2-formyl-à,3- dimethyl-1-Formyl-2,2,6-trimethyl-3-cis-(3-methylbut-2- enyl)-5-cyclohexene	450	936	75332-42-2	,319
		2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	491	877		
			462	875		
77	17,525	photocitral B	273	939	6040-45-5	,051
		O-Trifluoroacetyl-isopulegol	498	923	28587-54-4	
		1-Formyl-2,2,6-trimethyl-3-cis-(3-methylbut-2- enyl)-5-cyclohexene	355	916		
78	17,685	2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	636	962		,127
		1,6,10,14-Hexadecatetraen-3-ol, 3,7,11,15- tetramethyl-, (E,E)-	951	959	1113-21-9	
		(E,E)-7,11,15-Trimethyl-3-methylene-hexadeca-1,6,10,14-tetraene	911	953	70901-63-2	
79	17,850	1-Oxaspiro[2.5]oct-5-ene, 8,8-dimethyl-4-methylene-5,6-Decadien-3-yne, 5,7-diethyl-	206	956	54345-60-7	,114
		9,11-Octadecadiynoic acid, 8-oxo-, methyl ester	263	947	61227-89-2	
			178	929	75125-35-8	
80	18,326	photocitral B	297	952	6040-45-5	,257
		Glycerol 1-stearate	401	932	11099-07-3	
		Glycerol 1-stearate	401	931	11099-07-3	
81	18,461	Phytol	926	967	150-86-7	,129
		Phytol	914	953	150-86-7	
		3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	872	949	102608-53-7	
82	18,691	15-Deoxy-.DELTA.12,14-prostaglandin J2	370	926	87893-55-8	,770
		9-cis-Retinoic acid	568	917	1241893	
		15(S)-Hydroxy-(5Z,8Z,11Z,13E)-eicosatetraenoic acid	354	914	54845-95-3	
83	18,861	Cyclohexanecarboxaldehyde, 4-(hydroxymethyl)-	480	949	92385-32-5	,258
		(ñ)-Lavandulol	371	939	58461-27-1	
		(R)-(-)-14-Methyl-8-hexadecyn-1-ol	736	937	64566-18-3	
84	19,121	cis,trans-2,9-Dimethylspiro[5.5]undecane	271	916	95530-74-8	,049
		4-Hydroxy-2-methoxybenzaldehyde	201	888	18278-34-7	
		cis,cis-2,9-Dimethylspiro[5.5]undecane	259	875	95472-51-8	
85	19,161	Decane, 3,8-dimethyl-	717	961	17312-55-9	,059
		Hexadecane	818	958	544-76-3	
		Undecane, 4,7-dimethyl-	729	958	17301-32-5	
86	19,376	(-)-Isolongifolol	257	881	1139-17-9	,047
		9-cis-Retinoic acid	550	863	1241893	
		Retinoic acid	473	863	302-79-4	
87	19,541	2,3,4-Trimethyl-1-pentanol	559	890	6570-88-3	,035
		2-Ethyl-2-methyl-1,3-propanediol	576	888	77-84-9	
		Pentane, 3-ethyl-2-methyl-	552	852	609-26-7	
88	19,651	3,5-Dihydroxybenzoic acid	195	883	2099-10-5	,067
		3,5-Dihydroxybenzoic acid	193	880	2099-10-5	
		3,5-Dihydroxybenzoic acid	193	876	72963	

Continuación del apéndice 12.

89	19,726	Phytol	572	974	7541-49-3	,036
		1-Nonadecene	872	967	18435-45-5	
		1-Tricosene	901	962	18835-32-0	
90	19,921	Heneicosane	980	987	629-94-7	,414
		Eicosane	974	984	112-95-8	
		Hexacosane	973	981	630-01-3	
91	19,976	1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2-hydroperfluorobutanoate	197	923		,113
		3,5-Dihydroxybenzoic acid	215	911	72963	
		3,5-Dihydroxybenzoic acid	213	902	72963	
92	20,622	Heneicosane	974	989	629-94-7	,110
		Tetracosane	935	989	646-31-1	
		Tetracosane	974	988	646-31-1	
93	20,772	1-Hexyl-2-nitrocyclohexane	300	962	118252-04-3	,039
		1-Hexyl-1-nitrocyclohexane	291	932	118252-09-8	
		Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-pentyl-	326	903	41977-45-1	
94	21,112	1-Nonadecene	967	983	18435-45-5	,112
		n-Tetracosanol-1	973	982	506-51-4	
		Behenic alcohol	971	982	661-19-8	
95	21,272	Heneicosane	980	987	629-94-7	,455
		Eicosane	975	984	112-95-8	
		Hexacosane	978	982	630-01-3	
96	22,367	1-Eicosanol	839	968	629-96-9	,033
		9-Hexacosene	813	967	71502-22-2	
		1-Docosene	820	956	1599-67-3	
97	22,522	Tetracosane	878	980	646-31-1	,098
		Heneicosane	931	979	629-94-7	
		Eicosane	926	978	112-95-8	
98	22,872	DL-Arabinose	166	964	147-81-9	,035
		D-Psicose	196	950	551-68-8	
		DL-Arabinose	164	949	147-81-9	
99	23,858	2-Heptadecenal	642	959		,046
		1-Eicosanol	846	957	629-96-9	
		Cyclohexane, 1-(1,5-dimethylhexyl)-4-(4-methylpentyl)-	561	957	56009-20-2	
100	25,634	á-Cyano-L-alanine	71	881	6232-19-5	,036
		á-Cyano-L-alanine	75	874	6232-19-5	
		á-Cyano-L-alanine	67	851	6232-19-5	

Fuente: elaboración propia, empleando cromatógrafo de gases del Departamento de Toxicología de la Escuela de Química Farmacéutica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 13. **Cromatograma del aceite esencial de cardamomo de primera calidad con rendimiento de 0,36 % utilizando el secador industrial de leña**



Fuente: elaboración propia, empleando cromatógrafo de gases del Departamento de Toxicología de la Escuela de Química Farmacéutica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

**Apéndice 14. Composición química para el aceite esencial de
cardamomo, rendimiento 0,36 % (secado con secador de
leña industria)**

No.	Retención (min)	Compound Name	Match	R.Match	CAS	% Area
1	1,583	Trichloromethane	996	996	67-66-3	,073
		Methane, oxybis[dichloro-	956	995	20524-86-1	
		Trichloromethane	929	995	67-66-3	
2	5,806	à-Pinene	987	987	80-56-8	,205
		(1R)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene	980	987	7785-70-8	
		Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,3,3-trimethyl- diazoadamantane	975	985	488-97-1	
3	6,753	3,5-Nonadien-7-yn-2-ol, (E,E)-	665	909	24175-02-8	,754
		1-Methylene-2-vinylcyclopentane	590	906	43142-43-4	
			524	897	6196-78-7	
4	6,840	à-Pinene	988	988	127-91-3	,134
		Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2- methylene-, (1S)-	980	988	18172-67-3	
		à-Pinene	984	987	127-91-3	
5	7,161	à-Myrcene	968	972	123-35-3	,453
		à-Myrcene	966	971	123-35-3	
		à-Pinene	954	960	127-91-3	
6	7,516	Octanal	886	988	124-13-0	,113
		Octanal	920	947	124-13-0	
		Octanal	918	932	124-13-0	
7	7,782	1,3-Cyclohexadiene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	967	982	99-86-5	,167
		Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	848	973	586-63-0	
		(+)-4-Carene	966	972	29050-33-7	
8	8,237	Eucalyptol	210	939	470-82-6	11,103
		Trifluoroacetyl-à-terpineol	597	876		
		(R)-(+)-Citronellic acid	307	869	18951-85-4	
9	8,483	1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-, (Z)-	982	984	3338-55-4	,089
		à-Ocimene	981	982	13877-91-3	
		1,3,7-Octatriene, 3,7-dimethyl-	979	979	502-99-8	
10	8,737	ç-Terpinene	964	967	99-85-4	,617
		Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octane, 8-methylene-, (1à,2à,4à,5à)-	419	964	38310-48-4	
		ç-Terpinene	930	955	99-85-4	
11	9,087	Cyclohexanol, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, cis-	950	979	7299-41-4	,506
		Bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol, 2-methyl-5-(1- methylethyl)-, (1à,2à,5à)-	970	972	15537-55-0	
		p-Menth-8-en-1-ol, stereoisomer	932	957	7299-40-3	
12	9,212	1-Octanol	985	986	111-87-5	,143
		1-Octanol	980	981	111-87-5	
		Formic acid, octyl ester	974	975	112-32-3	
13	9,333	(+)-4-Carene	976	980	29050-33-7	,263
		Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-	973	980	586-62-9	
		Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	865	978	586-63-0	
14	9,487	2-Isopropylmalic acid	263	893	3237-44-3	,038
		4-Cyclopropylcyclohexene	540	881	80105-51-7	
		7-Oxabicyclo[2.2.1]heptane	363	878	279-49-2	
15	9,883	2-Nonyn-1-ol	708	899	5921-73-3	6,364
		Ethanol, 2-(3,3-dimethylcyclohexylidene)-	770	897	41370-29-0	
		Cyclohexanol, 2-methyl-5-(1-methylethenyl)-, (1à,2à,5à)-	861	893	18675-33-7	

Continuación del apéndice 14.

16	10,296	2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-, trans-	977	985	29803-81-4	,109
		2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-, cis-	963	969	29803-82-5	
		2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-, cis-	958	967	29803-82-5	
17	10,688	2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-, cis-	950	967	29803-82-5	,070
		2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-, cis-	938	958	29803-82-5	
		2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-, trans-	930	949	29803-81-4	
18	11,276	3-Hexyne, 2-methyl-	323	942	36566-80-0	,051
		1,4-Hexadiene, 2-methyl-	447	920	1119-14-8	
		1-Chloro-4-methylcyclohexane	467	907	931-68-0	
19	11,455	Terpinen-4-ol	944	949	562-74-3	1,669
		2-Butene, 1-methoxy-, (E)-	276	936	10034-14-7	
		3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-, (R)-	927	931	20126-76-5	
20	11,676	Furan, 2,3-dihydro-5-methyl-	492	934	1487-15-6	,049
		Pyrimidine, 5-methyl-, 1-oxide	349	924	17758-50-8	
		cis-4-Decenal	911	921	21662-09-9	
21	11,797	à-Terpineol	942	959	98-55-5	2,652
		L-à-Terpineol	954	954	10482-56-1	
		à-Terpineol	949	951	98-55-5	
22	11,964	Acetic acid, octyl ester	840	922	112-14-1	,732
		Acetic acid, octyl ester	843	910	112-14-1	
		cis-1-Butyl-2-methylcyclopropane	639	906	38851-69-3	
23	12,097	Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	736	955	586-63-0	,461
		4-Terpinenyl acetate	853	921	4821-04-9	
		Cyclopenta[c]pyran-1,3-dione, 4,4a,5,6-tetrahydro-4,7-dimethyl-	600	919	66407-26-9	
24	12,576	2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)-	981	981	106-26-3	,488
		2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)-	972	972	106-26-3	
		Citral	886	956	5392-40-5	
25	12,889	Z-4-Dodecenol	394	897	40642-37-3	9,281
		(E)-2-Butenylcyclopropane	315	883	76588-98-2	
		1,4-Heptadiene, 3-methyl-	442	874	1603-01-6	
26	12,964	2,5-Dihydro-3-methyl-thiophene 1,1-dioxide	391	884	1193-10-8	1,233
		2,3-Pentadiene	385	873	591-96-8	
		1,4-Pentadiene	381	864	591-93-5	
27	13,085	3-Methylxanthine	548	953	1076-22-8	,916
		3-Methylnon-1-yn-3-ol	480	946	5430-01-3	
		(E)-2-Butenylcyclopropane	329	931	76588-98-2	
28	13,185	2,3-Pentadiene	260	954	591-96-8	2,825
		2-Pentyne	257	943	627-21-4	
		1,4-Pentadiene	256	942	591-93-5	
29	13,452	1-Methyl-2-pyridone-5-carboxamide	215	922	701-44-0	,214
		Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, acetate, (1S-endo)-	908	909	5655-61-8	
		Bornyl acetate	839	880	76-49-3	
30	13,673	Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	660	928	586-63-0	,084
		ç-Terpinene	703	915	99-85-4	
		2-Carene	713	903	554-61-0	

Continuación del apéndice 14.

31	13,990	Cyclohexane, 1-methylene-4-(1-methylethenyl)-	756	929	499-97-8	1,087
		Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-	623	907	28634-89-1	
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 7,7-dimethyl-2-methylene-	690	904	471-84-1	
32	14,386	4-Penten-2-ol	472	951	625-31-0	,067
		2,6-Octadienoic acid, 3,7-dimethyl-, methyl ester, (E)-	676	906	1189-09-9	
		2,6-Octadienoic acid, 3,7-dimethyl-, methyl ester	725	872	2349-14-6	
33	14,932	3,5-Dihydroxybenzyl alcohol	217	849	29654-55-5	34,316
		3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate	245	837	92411-69-3	
		Pimelic acid	169	817	111-16-0	
34	15,190	Eugenol	866	940	97-53-0	,281
		Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-	854	928	97-54-1	
		Eugenol	923	926	97-53-0	
35	15,311	1-Methyl-2-pyridone-5-carboxamide	170	885	701-44-0	2,488
		1H-Imidazole, 4-(2-propenyl)-	167	872	50995-98-7	
		2à, 4aà, 8aà-Decahydro-2-naphthalenol	485	867	5779-35-1	
36	15,403	(Z)-Dec-4-enyl ethyl carbonate	952	959		,216
		3-Decen-1-ol, acetate, (Z)-	947	950	81634-99-3	
		5-Decen-1-ol, acetate, (E)-	947	948	38421-90-8	
37	15,470	cis-Dodec-5-enal	900	961	68820-33-7	,199
		trans-Dodec-5-enal	882	939	68820-34-8	
		cis,cis-7,10,-Hexadecadienal	872	923	56829-23-3	
38	15,532	1,5-Cyclodecadiene, 1,5-dimethyl-8-(1-methylethenyl)-, [S-(Z,E)]-	792	925	75023-40-4	,131
		Bicyclo[6.1.0]non-1-ene	456	889	2570-06-1	
		Bicyclo[5.1.0]octane, 8-methylene-	447	886	54211-15-3	
39	15,711	Formic acid, decyl ester	877	965	5451-52-5	,041
		Acetic acid, decyl ester	956	960	112-17-4	
		Formic acid, dec-2-yl ester	874	955		
40	16,020	Caryophyllene	989	994	87-44-5	,301
		Caryophyllene	984	985	87-44-5	
		Caryophyllene	979	984	87-44-5	
41	16,162	3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, propanoate	965	965	80-27-3	,559
		3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, propanoate	948	948	80-27-3	
		Isobutyl 2-(4-methylcyclohex-3-enyl)propan-2-yl carbonate	919	933		
42	16,412	Epoxy-à-terpenyl acetate	824	955		,372
		photocitral B	387	937	6040-45-5	
		1-Oxaspiro[2.5]octane, 4,4-dimethyl-8-methylene-	493	930	54345-56-1	
43	16,595	3-Hexyne, 2-methyl-	211	948	36566-80-0	,168
		Epoxy-à-terpenyl acetate	797	945		
		(2S,4R)-p-Mentha-[1(7),8]-diene 2-hydroperoxide	544	929		
44	16,658	Z-4-Dodecenol	770	930	40642-37-3	,236
		1,10-Undecadiene	809	926	13688-67-0	
		Bicyclo[4.1.0]heptane, 2-methyl-	820	925	41977-46-2	
45	16,995	1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1-methylethyl)-, [S-(E,E)]-	911	982	23986-74-5	,162
		1H-Cyclopenta[1,3]cyclopropa[1,2]benzene, octahydro-7-methyl-3-methylene-4-(1-methylethyl)-, [3aS-(3aà,3bà,4à,7à,7aS*)]-	947	968	13744-15-5	
		1H-Cyclopenta[1,3]cyclopropa[1,2]benzene, octahydro-7-methyl-3-methylene-4-(1-methylethyl)-, [3aS-(3aà,3bà,4à,7à,7aS*)]-	933	967	13744-15-5	

Continuación del apéndice 14.

46	17,058	Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	451	832	586-63-0	,055
		Methyl 4-hydroxybenzoate	282	824	99-76-3	
		Cyclopenta[c]pyran-1,3-dione, 4,4a,5,6-tetrahydro-4,7-dimethyl-	366	815	66407-26-9	
47	17,150	Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7- (1-methylethenyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aá)]-	955	982	17066-67-0	1,454
		Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7- (1-methylethenyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aá)]-	954	980	17066-67-0	
		Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7- (1-methylethenyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aá)]-	955	964	17066-67-0	
48	17,254	Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-4a,8- dimethyl-2-(1-methylethenyl)-, [2R-(2à,4aà,8aá)]-	959	968	473-13-2	,473
		2-Isopropenyl-4a,8-dimethyl-1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydronaphthalene	954	961		
		2-Isopropenyl-4a,8-dimethyl-1,2,3,4,4a,5,6,7-octahydronaphthalene	947	959		
49	17,333	Ibuprofen	188	939	15687-27-1	,058
		Cocaine	161	887	50-36-2	
		Dihydro-cis-à-copaene-8-ol	303	883	58569-27-0	
50	17,433	1,5-Cyclodecadiene, 1,5-dimethyl-8-(1- methylethenyl)-, [S-(Z,E)]-	845	970	75023-40-4	,040
		Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1- methylethenyl)-, [1S-(1à,2à,4à)]-	923	937	515-13-9	
		Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1- methylethenyl)-, [1S-(1à,2à,4à)]-	918	937	515-13-9	
51	17,508	Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7- methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-, (1à,4aá,8aà)-	979	985	39029-41-9	,508
		Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7- methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-, (1à,4aá,8aà)-	968	976	39029-41-9	
		ç-Murolene	961	972	30021-74-0	
52	17,617	Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	546	878	586-63-0	,097
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 7,7-dimethyl-2-methylene-	553	871	471-84-1	
		Cyclopenta[c]pyran-1,3-dione, 4,4a,5,6-tetrahydro-4,7-dimethyl-	415	858	66407-26-9	
53	17,717	Hydroxy-à-terpenyl acetate	874	962		,059
		Acetaldehyde, (3,3-dimethylcyclohexylidene)-, (E)-(9S,10R)-9,10-Epoxy-3Z,6Z-heneicosadiene	876	889	26532-25-2	
			201	885		
54	17,829	Dihydro-cis-à-copaene-8-ol	328	956	58569-27-0	,113
		3-Buten-2-ol, 4-(2,6,6-trimethyl-1-cyclohexen-1-yl)-cubedol	787	929	22029-76-1	
			909	928		
55	18,342	Cyclohexanol, 4-ethenyl-4-methyl-3-(1- methylethenyl)-, (1à,3à,4à)-	278	964	56298-45-4	5,377
		Bicyclo[6.1.0]non-1-ene	376	942	2570-06-1	
		Bicyclo[5.2.0]non-1-ene	374	936	65811-17-8	
56	18,421	(ñ)-Lavandulol	579	919	58461-27-1	,694
		Borneol	460	843	507-70-0	
		3-Hexyne, 2-methyl-	364	836	36566-80-0	
57	18,667	Caryophyllene oxide	955	963	1139-30-6	,164
		Caryophyllene oxide	951	955	1139-30-6	
		Caryophyllene oxide	878	942	1139-30-6	
58	18,775	Dihydro-cis-à-copaene-8-ol	390	990	58569-27-0	,199
		Selina-3,7(11)-diene	547	957	6813-21-4	
		Viridiflorol	780	931		
59	18,909	2-Methylenbornane	496	924	27538-47-2	,041
		Spiro[4.5]dec-7-ene, 1,8-dimethyl-4-(1- methylethenyl)-, [1S-(1à,4à,5à)]-	651	905	24048-44-0	
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 7,7-dimethyl-2-methylene-	373	894	471-84-1	
60	19,084	4-Hydroxy-3-methylbenzoic acid	243	931	499-76-3	,040
		Dihydro-cis-à-copaene-8-ol	277	928	58569-27-0	
		(-)-Isolongifolol	436	916	1139-17-9	

Continuación del apéndice 14.

61	19,292	1-Hydroxy-1,7-dimethyl-4-isopropyl-2,7-cyclodecadiene	946	967	72120-50-4	,167
		à-Hydroxyisobutyric acid	281	925	594-61-6	
		2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-9-(phenylsulfonyl)-, (E,E)-	332	915	57683-67-7	
62	19,409	Cyclohexene, 1,5,5-trimethyl-6-(2-propenylidene)-	363	948	56248-17-0	,073
		6,7-Dimethyl-3,5,8,8a-tetrahydro-1H-2-benzopyran	598	891	110028-10-9	
		1,4-Cyclohexadiene, 3-ethenyl-1,2-dimethyl-	560	889	62338-57-2	
63	19,472	photocitral B	336	939	6040-45-5	,077
		(-)-Isolongifolol	492	925	1139-17-9	
		(-)-Isolongifolol	482	907	1139-17-9	
64	19,605	(-)-Isolongifolol	483	925	1139-17-9	,105
		(-)-Isolongifolol	484	924	1139-17-9	
		2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-9-(phenylsulfonyl)-, (E,E)-	395	924	57683-67-7	
65	19,805	Stanozolol	170	761	10418-03-8	,043
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2,3-trimethyl-, endo-	269	760	20536-40-7	
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2,3-trimethyl-, exo-	267	754	20536-41-8	
66	19,872	Gentisic acid	209	880	490-79-9	,048
		Selina-6-en-4-ol	803	846		
		1-Naphthalenol, decahydro-1,4a-dimethyl-7-(1-methylethylidene)-, [1R-(1à,4aà,8aà)]-	781	846	473-04-1	
67	19,968	1-Naphthalenol, decahydro-1,4a-dimethyl-7-(1-methylethylidene)-, [1R-(1à,4aà,8aà)]-	897	947	473-04-1	,162
		Viridiflorol	733	928		
		Dihydro-cis-à-copaene-8-ol	331	928	58569-27-0	
68	20,130	photocitral B	410	942	6040-45-5	,086
		Cyclohexanol, 4-ethyl-4-methyl-3-(1-methylethyl)-, (1à,3à,4à)-	312	935	55869-53-9	
		Cyclohexanol, 4-ethyl-4-methyl-3-(1-methylethyl)-, (1à,3à,4à)-	307	920	55869-52-8	
69	20,305	2-Nonanone	658	912	821-55-6	,039
		2-Decanol	438	910	1120-06-5	
		2-Decanol	439	898	1120-06-5	
70	20,535	2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	516	965		,208
		2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-	897	938	19317-11-4	
		1-Formyl-2,2-dimethyl-3-trans-(3-methyl-but-2-enyl)-6-methylidene-cyclohexane	526	933		
71	20,660	2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	572	980		,703
		2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-	961	964	4602-84-0	
		2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-	895	962	4602-84-0	
72	20,939	2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-, (E,E)-	982	986	502-67-0	,328
		2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-, (E,E)-	952	978	502-67-0	
		2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-	948	973	19317-11-4	
73	21,043	Butanoic acid, 3,7-dimethyl-2,6-octadienyl ester, (E)-	771	958	106-29-6	,045
		2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, formate, (E)-	777	957	105-86-2	
		Geranyl isobutyrate	813	953	2345-26-8	
74	21,135	(1R,4R)-p-Mentha-2,8-diene, 1-hydroperoxide	490	914		,079
		2,6,10,14-Hexadecatetraenoic acid, 3,7,11,15-tetramethyl-9-(phenylsulfonyl)-, methyl ester, (E,E, E)-	268	911	74367-17-2	
		4-Hydroxy-3-methylbenzoic acid	241	904	499-76-3	
75	21,314	Bromine azide	227	925	13973-87-0	,039
		(-)-Isolongifolol	451	921	1139-17-9	
		(2S,4R)-p-Mentha-[1(7),8]-diene 2-hydroperoxide	444	916		

Continuación del apéndice 14.

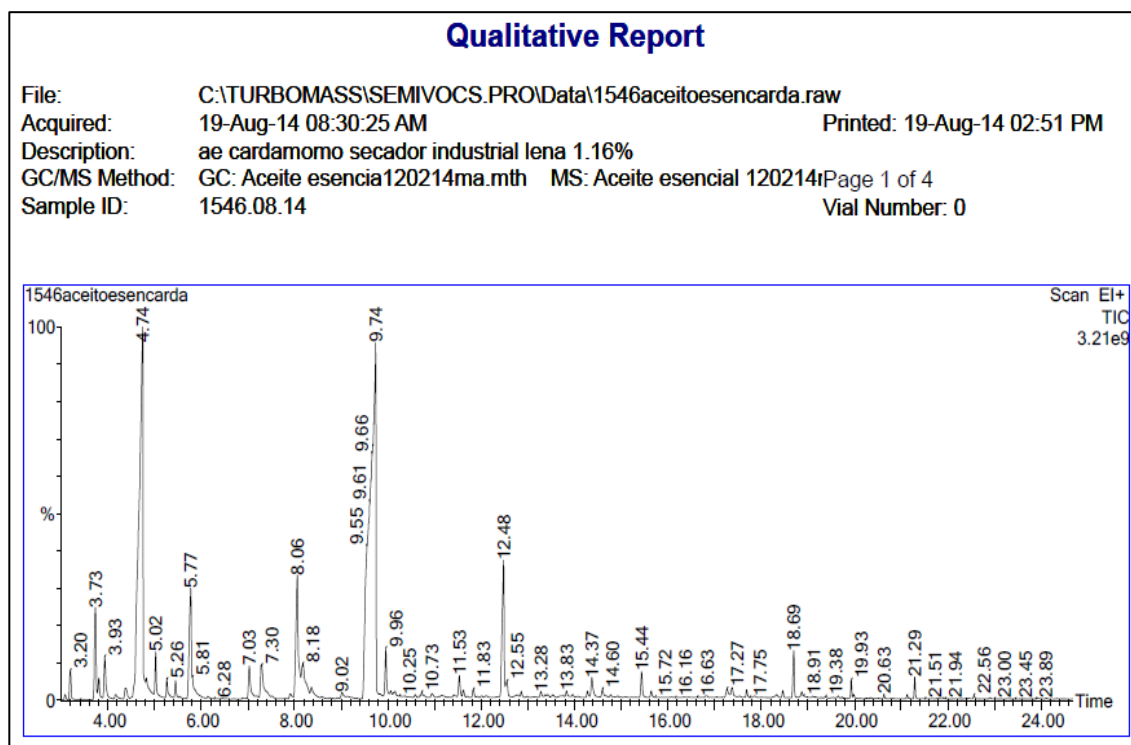
76	21,548	1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2-hydroperfluorobutanoate	201	916		,047
		Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-pentyl-	238	912	41977-45-1	
		Z-4-Dodecenol	289	906	40642-37-3	
77	21,965	1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2-hydroperfluorobutanoate	265	948		,616
		(-)-Isolongifolol	459	932	1139-17-9	
		Bromine azide	215	920	13973-87-0	
78	22,248	Farnesol, acetate	992	992		,238
		2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-, acetate, (E,E)-	985	986	4128-17-0	
		2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-, acetate, (E,E)-	981	984	4128-17-0	
79	23,124	Tetracosane	608	947	646-31-1	,041
		1-Decanol, 2-hexyl-	607	922	2425-77-6	
		2-methyltetracosane	671	917		
80	23,482	Hexadecanoic acid, methyl ester	697	965	112-39-0	,044
		Dodecanoic acid, 2-methyl-	561	950	2874-74-0	
		Methyl 8-methyl-nonanoate	623	947		
81	23,678	2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-9-(phenylsulfonyl)-, (E,E)-	378	927	57683-67-7	,053
		4-Methyl-1,4-heptadiene	387	919	13857-55-1	
		(-)-Isolongifolol	460	918	1139-17-9	
82	23,745	2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, propanoate, (Z)-	790	913	105-91-9	,050
		2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, propanoate, (E)-	781	899	105-90-8	
		Butanoic acid, 2-methyl-, 3,7-dimethyl-2,6-octadienyl ester, (E)-	630	877	68705-63-5	
83	24,282	DL-Arabinose	324	970	147-81-9	,459
		D-(-)-Ribose	379	964	50-69-1	
		n-Hexadecanoic acid	942	962	57-10-3	
84	24,387	(2S,4R)-p-Mentha-[1(7),8]-diene 2-hydroperoxide	419	898		,352
		à-Bisabolol	479	886	515-69-5	
		3-Cyclohexene-1-carboxaldehyde, 4-methyl-	432	882	7560-64-7	
85	24,570	1-Formyl-2,2,6-trimethyl-3-cis-(3-methylbut-2-enyl)-5-cyclohexene	317	928		,042
		2,4,7,9-Tetramethyl-5-decyne-4,7-diol	225	925	126-86-3	
		2,4,7,9-Tetramethyl-5-decyne-4,7-diol	230	919	126-86-3	
86	24,824	2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	621	967		,154
		1,6,10,14-Hexadecatetraen-3-ol, 3,7,11,15-tetramethyl-, (E,E)-	963	965	1113-21-9	
		1,6,10-Dodecatrien-3-ol, 3,7,11-trimethyl-	935	956	7212-44-4	
87	25,033	2R-Acetoxymethyl-1,3,3-trimethyl-4t-(3-methyl-2-buten-1-yl)-1t-cyclohexanol	329	940		,044
		Dihydro-cis-à-copaene-8-ol	257	938	58569-27-0	
		1,2-Pentanediol, 5-(6-bromodecahydro-2-hydroxy-2,5,5a,8a-tetramethyl-1-naphthalenyl)-3-methylene-	396	918	115346-29-7	
88	25,583	photocitral B	292	951	6040-45-5	,043
		Cyclohexanol, 4-ethyl-4-methyl-3-(1-methylethyl)-, (1à,3à,4à)-	264	941	55869-53-9	
		2-Isopropyl-5-methylcyclohexyl 3-(1-(4-chlorophenyl)-3-oxobutyl)-coumarin-4-yl carbonate	216	939		
89	25,658	1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2-hydroperfluorobutanoate	266	925		,069
		4-Methyl-exo-tricyclo[6.2.1.0(2,7)]undecane	618	909		
		(-)-Isolongifolol	444	906	1139-17-9	
90	25,733	10-Chloro-1-decanol	318	968	51309-10-5	,043
		10-Chloro-1-decanol	311	946	51309-10-5	
		10-Chloro-1-decanol	302	919	51309-10-5	

Continuación del apéndice 14.

91	25,90	Phytol	975	987	150-86-7	,099
		Phytol	938	980	150-86-7	
		Phytol	944	958	150-86-7	
92	26,192	15-Deoxy-.DELTA.12,14-prostaglandin J2	338	946	87893-55-8	,665
		15(S)-Hydroxy-(5Z,8Z,11Z,13E)-eicosatetraenoic acid	325	926	54845-95-3	
		9-cis-Retinoic acid	522	915	5300-03-8	
93	26,438	Cyclohexanecarboxaldehyde, 4-(hydroxymethyl)-	454	953	92385-32-5	,427
		(ñ)-Lavandulol	333	933	58461-27-1	
		photocitral B	345	928	6040-45-5	
94	28,118	Tricosane	895	978	638-67-5	,329
		Tetracosane	829	977	646-31-1	
		Hexacosane	859	971	630-01-3	
95	29,256	Tetracosane	965	989	646-31-1	,072
		Tetracosane	965	984	646-31-1	
		Tetracosane	960	983	646-31-1	
96	30,085	Z-12-Pentacosene	961	980		,079
		9-Hexacosene	899	980	71502-22-2	
		1-Pentacosanol	961	977	26040-98-2	
97	30,377	Pentacosane	986	986	629-99-2	,303
		Octacosane	973	982	630-02-4	
		Eicosane	953	982	112-95-8	
98	32,558	Octacosane	941	978	630-02-4	,066
		Hexacosane	891	978	630-01-3	
		Heptacosane	955	973	593-49-7	
99	33,049	Geranyl acetate	771	937	105-87-3	,136
		2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, propanoate, (E)-	824	927	105-90-8	
		Butanoic acid, 3,7-dimethyl-2,6-octadienyl ester, (E)-	806	924	106-29-6	
100	35,084	Mono-methyl sebacate	500	909	818-88-2	,066
		1,3,3-Trimethyl-2-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexene	436	905		
		2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, formate, (E)-	692	904	105-86-2	

Fuente: elaboración propia, empleando cromatógrafo de gases del Departamento de Toxicología de la Escuela de Química Farmacéutica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 15. **Cromatograma del aceite esencial de cardamomo de primera calidad con rendimiento de 1,16 % utilizando el secador industrial de leña**



Fuente: elaboración propia, empleando cromatógrafo de gases del Departamento de Toxicología de la Escuela de Química Farmacéutica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

**Apéndice 16. Composición química para el aceite esencial de
cardamomo, rendimiento 1,16 % (secado con secador de
leña industria)**

No.	Retención (min)	Compound Name	Match	R.Match	CAS	% Área
1	3,0830	à-Phellandrene	937	950	99-83-2	0,1230
		Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-	885	946	2867-05-2	
		Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-	869	940	28634-89-1	
2	3,1980	à-Pinene	978	983	80-56-8	0,7000
		3-Carene	957	978	13466-78-9	
		(1R)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene	973	974	7785-70-8	
3	3,4190	Camphene	980	984	79-92-5	0,0260
		Camphene	979	979	79-92-5	
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2-dimethyl-3-methylene-, (1S)-	977	978	5794-04-7	
4	3,7340	ç-Terpinene	973	976	99-85-4	2,3100
		ç-Terpinene	958	964	99-85-4	
		ç-Terpinene	913	961	99-85-4	
5	3,8090	Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	971	982	18172-67-3	0,3420
		Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	978	980	18172-67-3	
		à-Pinene	976	978	127-91-3	
6	3,9340	á-Myrcene	970	972	123-35-3	1,1880
		á-Myrcene	964	967	123-35-3	
		Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	961	963	18172-67-3	
7	4,1640	Octanal	973	992	124-13-0	0,1750
		Octanal	989	990	124-13-0	
		Octanal	981	982	124-13-0	
8	4,3840	Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-	949	972	586-62-9	0,4610
		1,3-Cyclohexadiene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	952	969	99-86-5	
		2-Carene	930	966	554-61-0	
9	4,7440	Eucalyptol	980	987	470-82-6	22,0670
		Eucalyptol	971	981	470-82-6	
		Eucalyptol	968	978	470-82-6	
10	4,8290	Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octane, 8-methylene-, (1à,2à,4à,5à)-	461	959	38310-48-4	0,2820
		3-Carene	914	924	13466-78-9	
		Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-methylene-	625	909	54211-14-2	
11	5,0240	ç-Terpinene	973	974	99-85-4	0,8560
		ç-Terpinene	972	973	99-85-4	
		ç-Terpinene	955	955	99-85-4	
12	5,2640	ç-Terpinene	923	973	99-85-4	0,4550
		ç-Terpinene	922	972	99-85-4	
		ç-Terpinene	873	972	99-85-4	
13	5,4490	Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-	972	990	586-62-9	0,3780
		2-Carene	947	978	554-61-0	
		Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-	968	976	586-62-9	
14	5,5340	Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptan-3-ol	427	838	695-04-5	0,0510
		Bicyclo[2.2.1]hept-2-en-7-ol	438	836	53783-87-2	
		Ethinamate	427	791	126-52-3	
15	5,7740	Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octane, 8-methylene-, (1à,2à,4à,5à)-	257	980	38310-48-4	4,9720
		Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	858	964	18172-67-3	
		3-Carene	826	959	13466-78-9	

Continuación del apéndice 16.

16	6,1450	ç-Terpinene	913	957	99-85-4	0,1140
		ç-Terpinene	915	954	99-85-4	
		ç-Terpinene	865	952	99-85-4	
17	6,4550	ç-Terpinene	878	924	99-85-4	0,0360
		ç-Terpinene	815	924	99-85-4	
		ç-Terpinene	868	920	99-85-4	
18	6,8900	Cyclohexane, 1-methylene-4-(1-methylethenyl)-	778	961	499-97-8	0,0560
		Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-methylene-	388	958	54211-14-2	
		à-Terpineol	928	946	98-55-5	
19	7,0300	2-Carene	758	959	554-61-0	1,1580
		Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-	756	955	586-62-9	
		ç-Terpinene	722	955	99-85-4	
20	7,1950	Cyclobutaneethanol, á-methylene-	547	942	116203-80-6	0,0520
		1H-Imidazole, 4,5-dihydro-2-methyl-	505	935	534-26-9	
		cis-4-Decenal	878	888	21662-09-9	
21	7,2950	à-Terpineol	966	982	98-55-5	1,8720
		Cyclohexanol, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, acetate	834	955	10198-23-9	
		Cyclohexene, 1-methyl-5-(1-methylethenyl)-, (R)-	822	953	1461-27-4	
22	7,5200	ç-Terpinene	902	912	99-85-4	0,0850
		ç-Terpinene	854	909	99-85-4	
		ç-Terpinene	896	906	99-85-4	
23	7,7900	Cyclopenta[c]pyran-1,3-dione, 4,4a,5,6-tetrahydro-4,7-dimethyl-	520	952	66407-26-9	0,0270
		Cyclohexane, 1-methylene-4-(1-methylethenyl)-	808	924	499-97-8	
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 7,7-dimethyl-2-methylene-	750	913	471-84-1	
24	7,9100	2,6-Dimethyl-1,3,5,7-octatetraene, E,E-	741	954	460-01-5	0,2140
		Aziridine, 1-phenyl-	375	952	696-18-4	
		2-(1-Hydroxyethyl)hydroxymethylbenzene	625	936	57259-71-9	
25	8,0600	Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	918	964	18172-67-3	5,4280
		3-Carene	899	963	13466-78-9	
		á-Pinene	913	948	127-91-3	
26	8,1800	á-Myrcene	919	948	123-35-3	2,5520
		á-Myrcene	910	944	123-35-3	
		1-Methylene-2-vinylcyclopentane	447	932	6196-78-7	
27	8,3610	Allopurinol	146	953	315-30-0	0,7630
		Citral	887	936	5392-40-5	
		3,7-Nonadien-2-one, 8-methyl-, (E)-	530	930	35408-14-1	
28	8,5860	Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, acetate, (1S-endo)-	936	942	5655-61-8	0,1060
		Bornyl acetate	924	930	76-49-3	
		Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, acetate, (1S-endo)-	923	926	5655-61-8	
29	8,7560	Cyclopenta[c]pyran-1,3-dione, 4,4a,5,6-tetrahydro-4,7-dimethyl-	628	928	66407-26-9	0,0400
		Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-	854	914	586-62-9	
		4-Terpinenyl acetate	864	905	4821-04-9	
30	8,9160	Cyclopenta[c]pyran-1,3-dione, 4,4a,5,6-tetrahydro-4,7-dimethyl-	500	949	66407-26-9	0,0290
		Cyclohexanol, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, acetate	874	938	10198-23-9	
		Cyclohexene, 1-methyl-5-(1-methylethenyl)-, (R)-	852	937	1461-27-4	

Continuación del apéndice 16.

31	9,0160	Cyclohexane, 1-methylene-4-(1-methylethenyl)-	875	985	499-97-8	0,2950
		Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-methylene-	503	972	54211-14-2	
		Cyclohexane, 1-methylene-4-(1-methylethenyl)-	904	971	499-97-8	
32	9,1260	4-Penten-2-ol	444	926	625-31-0	0,2050
		2,6-Octadienoic acid, 3,7-dimethyl-, methyl ester, (E)-	712	905	1189-09-9	
		2-Difluoroamino-3-(N-fluoroimino)-1,1,1,2,4,4,4-heptafluoro- butene	491	894	13016-00-7	
33	9,7360	Cyclohexanol, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, acetate	883	938	10198-23-9	35,4000
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2-dimethyl-3-methylene-, (1S)-	886	932	5794-04-7	
		3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate	913	931	80-26-2	
34	9,9560	à-Myrcene	924	956	123-35-3	1,2600
		Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	908	953	18172-67-3	
		à-Myrcene	920	950	123-35-3	
35	10,0610	10-Undecen-1-ol	846	929	112-43-6	0,1620
		1,10-Undecadiene	826	919	13688-67-0	
		Z-4-Dodecenol	804	905	40642-37-3	
36	10,1510	Bicyclo[5.1.0]octane, 8-methylene-	497	939	54211-15-3	0,2320
		Bicyclo[6.1.0]non-1-ene	514	928	2570-06-1	
		1,5-Cyclodecadiene, 1,5-dimethyl-8-(1-methylethenyl)-, [S-(Z,E)]-	810	923	75023-40-4	
37	10,2460	DL-à-Phenylglycine	184	846	2835-06-5	0,0240
		DL-à-Phenylglycine	180	827	2835-06-5	
		Neopentane-1,1-diol diacetate	166	825	64847-79-6	
38	10,3510	Decane, 3-chloro-	669	943	1002-11-5	0,0310
		1-Decanol	718	930	112-30-1	
		1-Decanol	732	927	112-30-1	
39	10,5860	Caryophyllene	983	984	87-44-5	0,0660
		Caryophyllene	977	977	87-44-5	
		Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-8-methylene-, [1R-(1R*,4Z,9S*)]-	968	972	118-65-0	
40	10,7260	Cyclohexene, 1-methyl-5-(1-methylethenyl)-, (R)-	857	968	1461-27-4	0,2380
		D-Limonene	904	960	5989-27-5	
		Cyclohexanol, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, acetate	891	954	10198-23-9	
41	10,9460	Acetaldehyde, (3,3-dimethylcyclohexylidene)-, (E)-	725	928	26532-25-2	0,1580
		(-)-Isolongifolol	513	923	1139-17-9	
		(-)-Isolongifolol	528	921	1139-17-9	
42	11,0920	Bicyclo[6.1.0]non-1-ene	452	914	2570-06-1	0,0260
		Bicyclo[5.1.0]octane, 8-methylene-	423	909	54211-15-3	
		(2S,4R)-p-Mentha-[1(7),8]-diene 2-hydroperoxide	600	898		
43	11,1520	Z-4-Dodecenol	394	923	40642-37-3	0,1180
		1,8-Octanediol	399	900	629-41-4	
		3-Dodecen-1-ol, (Z)-	377	900	32451-95-9	
44	11,4170	cis-murola-4(14),5-diene	657	970		0,0760
		1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1-methylethyl)-, [S-(E,E)]-	757	947	23986-74-5	
		1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1-methylethyl)-, [S-(E,E)]-	786	937	23986-74-5	
45	11,5320	Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7-(1-methylethenyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aà)]-	960	984	17066-67-0	0,5530
		Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7-(1-methylethenyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aà)]-	957	982	17066-67-0	
		Bicyclo[5.3.0]decane, 2-methylene-5-(1-methylvinyl)-8-methyl-	955	966		

Continuación del apéndice 16.

46	11,6170	Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-4a,8-dimethyl-2-(1-methylethenyl)-, [2R-(2à,4aà,8aà)]-	954	964	473-13-2	0,1470
		2-Isopropenyl-4a,8-dimethyl-1,2,3,4,4a,5,6,7-octahydronaphthalene	944	958		
		2-Isopropenyl-4a,8-dimethyl-1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydronaphthalene	945	954		
47	11,8320	Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-, (1à,4aà,8aà)-	966	990	39029-41-9	0,2300
		ç-Murolene	949	978	30021-74-0	
		ç-Murolene	963	975	30021-74-0	
48	11,9270	Cyclohexene, 4-methyl-1-(1-methylethenyl)-	494	853	586-67-4	0,0350
		Phenol, 3,5-dimethyl-, methylcarbamate	453	844	2655-14-3	
		(3aS,6aS)-3,3-dimethyl-3,4,5,6-tetrahydro-3a,6a-methanopentalen-1(2H)-one	409	840	121402-83-3	
49	12,0070	1,3,8-p-Menthatriene	724	967	18368-95-1	0,0440
		2,6-Dimethyl-1,3,5,7-octatetraene, E,E-	714	957	460-01-5	
		2,6-Dimethyl-1,3,5,7-octatetraene, E,E-	734	944	460-01-5	
50	12,0920	Ibuprofen	405	984	15687-27-1	0,0570
		cis-murola-4(14),5-diene	703	958		
		cis-murola-3,5-diene	837	924		
51	12,4820	á-Bisabolene	938	949	495-61-4	4,6760
		á-Bisabolene	912	948	495-61-4	
		Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-8-methylene-	940	945	13877-93-5	
52	12,5520	2-(3-methyl-2-cyclopenten-1-yl)-2-methylpropionaldehyde	255	906		0,5520
		Cyclopropanecarboxylic acid, but-3-yn-2-yl ester	558	845		
		Geranyl nitrile	716	787	101660-61-1	
53	12,7770	(2S,4R)-p-Mentha-[1(7),8]-diene 2-hydroperoxide	436	935		0,1170
		Bicyclo[6.1.0]nonane, 9-(1-methylethylidene)-	586	932	56666-90-1	
		5,10-Pentadecadiyn-1-ol	248	932	64275-50-9	
54	12,8570	Isolodene	919	951		0,1450
		Naphthalene, 1,2,3,5,6,7,8,8a-octahydro-1,8a-dimethyl-7-(1-methylethenyl)-, [1R-(1à,7à,8aà)]-	799	949	4630-07-3	
		1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1-methylethyl)-, [S-(E,E)]-	774	948	23986-74-5	
55	12,9870	Bicyclo[4.1.0]heptan-3-one, 7,7-dimethyl-4-methylene-, (1R)-	333	935	106974-32-7	0,0310
		Cyclopropane, (R,R)-1-((Z),(Z)-hexa-1',3'-dienyl)-2-ethenyl-	239	903	77210-41-4	
		1-Cyclohexene-1-carboxaldehyde, 4-(1-methylethenyl)-, (S)-	579	898	18031-40-8	
56	13,2770	cis-murola-4(14),5-diene	660	968		0,1370
		1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1-methylethyl)-, [S-(E,E)]-	802	962	23986-74-5	
		ç-Murolene	896	958	30021-74-0	
57	13,3720	1-Phenyl-2-methyl-oct-1-ene	212	927		0,0450
		5-Benzocyclooctenol, 5,6,7,8-tetrahydro-, (E)-	334	900	69576-88-1	
		Neoisolongifolene, 8,9-dehydro-	838	894	67517-14-0	
58	13,4270	(-)-Isolongifolol	540	927	1139-17-9	0,0610
		1,3,3-Trimethyl-2-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexene	431	927		
		photocitral B	340	927	6040-45-5	
59	13,5380	Spiro[4.5]dec-7-ene, 1,8-dimethyl-4-(1-methylethenyl)-, [1S-(1à,4à,5à)]-	675	924	24048-44-0	0,0820
		Acetate, (2,4a,5,8a-tetramethyl-1,2,3,4,4a,7,8,8a-octahydro-1-naphthalenyl) ester	836	912	20558-21-8	
		1,5,9,9-Tetramethyl-2-methylene-spiro[3.5]non-5-ene	823	903		

Continuación del apéndice 16.

60	13,7580	(2S,4R)-p-Mentha-[1(7),8]-diene 2-hydroperoxide	456	947		0,1180
		1H-Cycloprop[e]azulen-4-ol, decahydro-1,1,4,7- tetramethyl-, [1aR-(1aà,4à,4aà,7à,7aà,7bà)]-	787	945	552-02-3	
		Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7- (1-methylethenyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aà)]-	711	942	17066-67-0	
61	13,8330	Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7- (1-methylethenyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aà)]-	821	975	17066-67-0	0,2090
		Selina-3,7(11)-diene	582	950	6813-21-4	
		Naphthalene, 2,3,4,4a,5,6-hexahydro-1,4a- dimethyl-7-(1-methylethyl)-	893	949	473-14-3	
62	13,9630	photocitral B	414	935	6040-45-5	0,1160
		1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2- hydroperfluorobutanoate	263	932		
		Cyclohexanol, 4-ethyl-4-methyl-3-(1-methylethyl)-, (1à,3à,4à)-	307	904	55869-53-9	
63	14,0730	Diborane(6), æ-mercapto-	330	902	22548-43-2	0,0560
		Decane, 3,8-dimethyl-	596	899	17312-55-9	
		Dodecane	604	887	112-40-3	
64	14,2730	15(S)-Hydroxy-(5Z,8Z,11Z,13E)-eicosatetraenoic acid	403	940	54845-95-3	0,1520
		15-Deoxy-.DELTA.12,14-prostaglandin J2	428	936	87893-55-8	
		1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3- methylbut-2-enyl)-cyclohexane	319	936		
65	14,3680	à-Bisabolene	946	957	495-61-4	0,5820
		(E)-à-Farnesene	911	955	18794-84-8	
		Caryophyllene	947	952	87-44-5	
66	14,5980	5,10-Pentadecadiyn-1-ol	193	963	64275-50-9	0,2360
		1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3- methylbut-2-enyl)-cyclohexane	401	956		
		15-Deoxy-.DELTA.12,14-prostaglandin J2	330	933	87893-55-8	
67	14,6730	Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-methylene-	341	885	54211-14-2	0,0370
		Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-	518	861	28634-89-1	
		3-Pyridinemethanol	331	847	100-55-0	
68	14,7730	Cyclohexanone, 2,3,3-trimethyl-2-(3-methyl-1,3- butadienyl)-, (Z)-	537	916	69296-90-8	0,0710
		(2S,4R)-p-Mentha-[1(7),8]-diene 2-hydroperoxide	435	914		
		4-Hydroxy-3-methylbenzoic acid	231	913	499-76-3	
69	14,9230	1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2- hydroperfluorobutanoate	247	958		0,0340
		(-)-Isolongifolol	481	947	1139-17-9	
		2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-9- (phenylsulfonyl)-, (E,E)-	383	923	57683-67-7	
70	15,4380	2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-9- (phenylsulfonyl)-, (E,E)-	325	938	57683-67-7	0,6890
		1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3- methylbut-2-enyl)-cyclohexane	319	928		
		(2S,4R)-p-Mentha-[1(7),8]-diene 2-hydroperoxide	398	921		
71	15,6430	à-Bisabolene	918	951	495-61-4	0,1750
		(Z,Z)-à-Farnesene	762	950		
		Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-8- methylene-, [1R-(1R*,4Z,9S*)]-	917	949	118-65-0	
72	16,0790	1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2- hydroperfluorobutanoate	189	938		0,0360
		photocitral B	276	931	6040-45-5	
		(1aR,3S,3aS,7R,7aR,7bS)-(-)-1a,2,3,3a,4,5,6,7,7a,7b-Decahydro-1,1,7,7a-tetramethyl-1H-cyclopropa[a]naphthalen-3-ol	268	916	28329-86-4	
73	16,3590	D-(+)-Xylose	135	979	58-86-6	0,0350
		D-Xylulose	136	976	551-84-8	
		DL-Arabinose	139	968	147-81-9	

Continuación del apéndice 16.

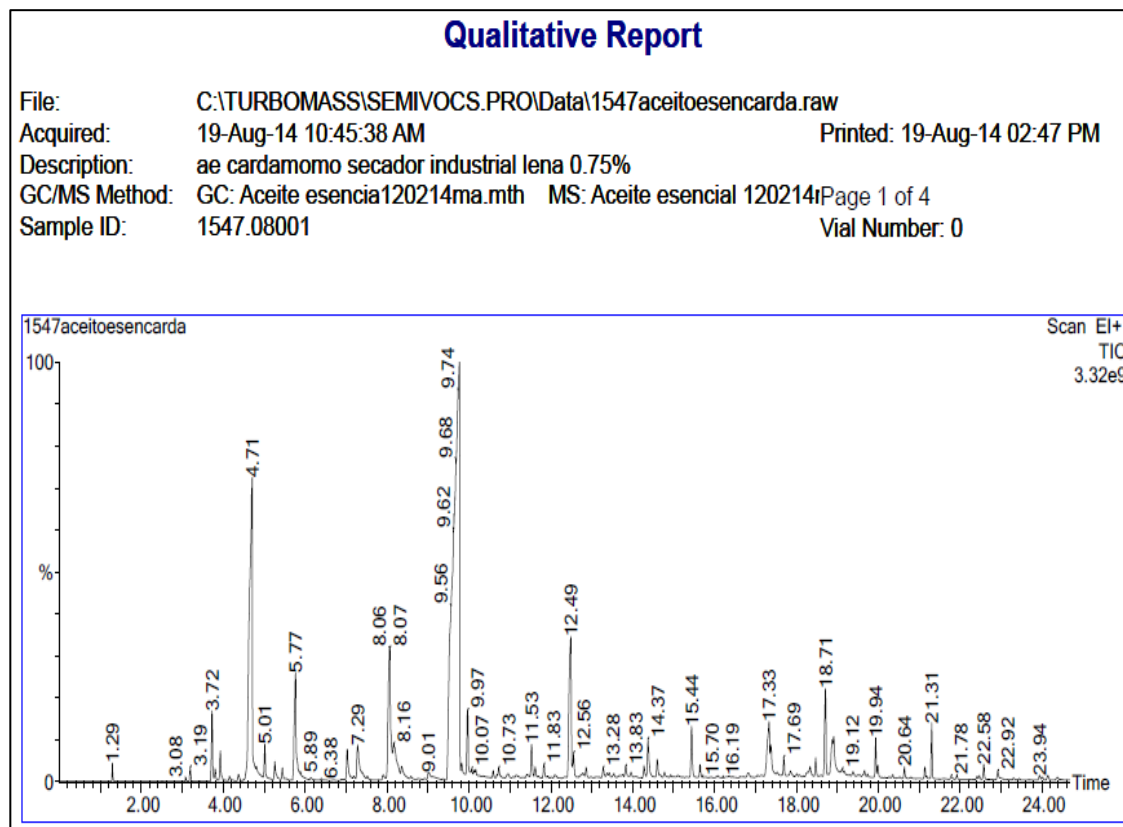
74	16,8340	(2S,4R)-p-Mentha-[1(7),8]-diene 2-hydroperoxide	518	944		0,0860
		1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexane	407	941		
		Cyclopenta[c]pyran-1,3-dione, 4,4a,5,6-tetrahydro-4,7-dimethyl-	300	941	66407-26-9	
75	17,2690	10-Chloro-1-decanol	287	994	51309-10-5	0,3390
		n-Hexadecanoic acid	967	987	57-10-3	
		n-Hexadecanoic acid	948	968	57-10-3	
76	17,3790	Gentisic acid	230	958	490-79-9	0,4100
		3,5-Dihydroxybenzoic acid	258	911	99-10-5	
		3,5-Dihydroxybenzoic acid	256	903	99-10-5	
77	17,5290	Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-pentyl-	251	944	41977-45-1	0,0420
		Monomyristin	196	935	589-68-4	
		3-Hexyne, 2-methyl-	159	924	36566-80-0	
78	17,6890	(E,E,E)-3,7,11,15-Tetramethylhexadeca-1,3,6,10,14-pentaene	914	971	77898-97-6	0,1710
		1,6,10,14-Hexadecatetraen-3-ol, 3,7,11,15- tetramethyl-, (E,E)-	966	970	1113-21-9	
		(E,E)-7,11,15-Trimethyl-3-methylene-hexadeca-1,6,10,14-tetraene	911	970	70901-63-2	
79	17,8540	3,5-Dihydroxybenzyl alcohol	106	936	29654-55-5	0,0660
		2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-9-(phenylsulfonyl)-, (E,E)-	283	913	57683-67-7	
		9-cis-Retinal	367	912	514-85-2	
80	18,3240	photocitral B	266	955	6040-45-5	0,1740
		1,2-Pentandiol, 5-(6-bromodecahydro-2-hydroxy-2,5,5a,8a-tetramethyl-1-naphthalenyl)-3-methylene-	371	932	115346-29-7	
		Cyclohexanol, 4-ethyl-4-methyl-3-(1-methylethyl)-, (1a,3a,4a)-	259	918	55869-53-9	
81	18,4640	3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	863	984	102608-53-7	0,1540
		Phytol, acetate	888	947		
		Pentadecanal-	765	932	2765-11-9	
82	18,6950	15-Deoxy-.DELTA.12,14-prostaglandin J2	364	944	87893-55-8	1,0920
		15(S)-Hydroxy-(5Z,8Z,11Z,13E)-eicosatetraenoic acid	350	930	54845-95-3	
		1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2-hydroperfluorobutanoate	163	926		
83	18,8650	Cyclohexanecarboxaldehyde, 4-(hydroxymethyl)-	406	945	92385-32-5	0,2510
		2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	347	938		
		Kauran-18-al, 17-(acetyloxy)-, (4a)-	626	935	55902-84-6	
84	19,1100	1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexane	306	953		0,0500
		1-Formyl-2,2,6-trimethyl-3-cis-(3-methylbut-2-enyl)-5-cyclohexene	341	945		
		1-Formyl-2,2-dimethyl-3-trans-(3-methyl-but-2-enyl)-6-methylidene-cyclohexane	336	945		
85	19,1650	Decane, 3,8-dimethyl-	623	951	17312-55-9	0,0380
		2-Decanol	496	946	1120-06-5	
		Sulfurous acid, 2-ethylhexyl hexyl ester	590	944		
86	19,3800	5-Benzocyclooctenol, 5,6,7,8-tetrahydro-, (E)-	181	877	69576-88-1	0,0480
		trans-2,6-Dimethyl-â-methyl-â-nitrostyrene	224	857	147102-59-8	
		Benzene, 1,1'-(1,4-pentadiene-1,5-diyl)bis-, (E,E)-	154	854	26057-48-7	
87	19,6550	1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2-hydroperfluorobutanoate	155	935		0,0730
		3,5-Dihydroxybenzoic acid	173	903	99-10-5	
		3,5-Dihydroxybenzoic acid	172	900	99-10-5	
88	19,7350	1-Nonadecene	818	969	18435-45-5	0,0290
		Phytol	520	968	7541-49-3	
		1-Docosene	823	960	1599-67-3	

Continuación del apéndice 16.

89	19,9300	Heneicosane	980	991	629-94-7	0,3460
		Tetracosane	976	987	646-31-1	
		Eicosane	973	987	112-95-8	
90	19,9800	3,4-Dihydroxybenzoic acid	118	931	99-50-3	0,0970
		Gentisic acid	139	915	490-79-9	
		Borneol	104	915	507-70-0	
91	20,3350	1-Formyl-2,2,6-trimethyl-3-cis-(3-methylbut-2-enyl)-5-cyclohexene	290	938		0,0230
		1-Formyl-2,2-dimethyl-3-trans-(3-methyl-but-2-enyl)-6-methylidene-cyclohexane	296	924		
		1-Formyl-2,2,6-trimethyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-6-cyclohexene	288	903	108287-18-9	
92	20,6300	Tetracosane	934	990	646-31-1	0,0950
		Tetracosane	975	988	646-31-1	
		Heneicosane	972	988	629-94-7	
93	21,1250	1-Eicosanol	942	980	629-96-9	0,0960
		1-Nonadecene	917	980	18435-45-5	
		10-Heneicosene (c,t)	915	980	95008-11-0	
94	21,2910	Heneicosane	980	988	629-94-7	0,4270
		Hexacosane	981	986	630-01-3	
		Eicosane	975	986	112-95-8	
95	21,7710	10-Chloro-1-decanol	236	970	51309-10-5	0,0370
		10-Chloro-1-decanol	226	930	51309-10-5	
		10-Chloro-1-decanol	257	929	51309-10-5	
96	21,9010	Tetracosane	677	942	646-31-1	0,0320
		Nonadecane	672	941	629-92-5	
		Heptadecane	694	928	629-78-7	
97	22,5560	Tetracosane	885	978	646-31-1	0,0970
		Hexacosane	933	977	630-01-3	
		Heneicosane	931	977	629-94-7	
98	22,9010	Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-methylene-	323	936	54211-14-2	0,0500
		Cyclohexane, 1-methylene-4-(1-methylethenyl)-	665	927	499-97-8	
		1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, 2-aminobenzoate	770	920	7149-26-0	
99	23,9170	Phytol	382	950	7541-49-3	0,0460
		2-Heptadecenal	520	944		
		10-Chloro-1-decanol	291	934	51309-10-5	
100	24,1220	Tridecanol, 2-ethyl-2-methyl-	595	928		0,0350
		Tetracosane	594	927	646-31-1	
		2-Decanol	356	921	1120-06-5	

Fuente: elaboración propia, empleando cromatógrafo de gases del Departamento de Toxicología de la Escuela de Química Farmacéutica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 17. **Cromatograma del aceite esencial de cardamomo de primera calidad con rendimiento de 0,75 % utilizando el secador industrial de leña**



Fuente: elaboración propia, empleando cromatógrafo de gases del Departamento de Toxicología de la Escuela de Química Farmacéutica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

**Apéndice 18. Composición química para el aceite esencial de
cardamomo, rendimiento 0,75 % (secado con secador de
leña industria)**

No.	Retención (min)	Compound Name	Match	R.Match	CAS	Area%
1	1,289	Methane, oxybis[dichloro-	941	979	20524-86-1	0,204
		Trichloromethane	973	975	67-66-3	
		Trichloromethane	972	974	67-66-3	
2	3,195	α-Pinene	985	985	80-56-8	0,233
		(1R)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene	978	978	7785-70-8	
		(1R)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene	972	978	7785-70-8	
3	3,725	α-Phellandrene	948	979	555-10-2	1,181
		Cyclohexene, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	917	978	99-84-3	
		Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-	901	975	28634-89-1	
4	3,805	α-Pinene	982	982	127-91-3	0,162
		Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	980	980	18172-67-3	
		α-Pinene	970	976	127-91-3	
5	3,930	α-Myrcene	966	966	123-35-3	0,574
		α-Myrcene	962	962	123-35-3	
		α-Myrcene	960	960	123-35-3	
6	4,155	Octanal	973	993	124-13-0	0,113
		Octanal	989	991	124-13-0	
		Octanal	985	987	124-13-0	
7	4,370	1,3-Cyclohexadiene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	962	976	99-86-5	0,160
		Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	851	972	586-63-0	
		(+)-4-Carene	962	966	29050-33-7	
8	4,705	Eucalyptol	981	989	470-82-6	13,131
		cis-Aconitic acid	156	986	585-84-2	
		Eucalyptol	980	983	470-82-6	
9	4,810	Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octane, 8-methylene-, (1à,2à, 4à,5à)-	467	965	38310-48-4	0,121
		Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-methylene-	579	907	54211-14-2	
		1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-, (Z)-	865	889	3338-55-4	
10	5,010	ç-Terpinene	976	977	99-85-4	0,522
		ç-Terpinene	973	973	99-85-4	
		Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octane, 8-methylene-, (1à,2à,4à,5à)-	408	964	38310-48-4	
11	5,255	Bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-, (1à,2à,5à)-	937	959	17699-16-0	0,398
		3-Carene	818	959	13466-78-9	
		3-Carene	799	958	13466-78-9	
12	5,446	Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-	964	977	586-62-9	0,213
		Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	849	975	586-63-0	
		(+)-4-Carene	963	968	29050-33-7	
13	5,766	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	956	959	78-70-6	3,876
		1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	948	949	78-70-6	
		1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, 2-aminobenzoate	936	948	7149-26-0	
14	6,136	Cyclohexene, 4-methylene-1-(1-methylethyl)-	774	943	99-84-3	0,125
		ç-Terpinene	813	932	99-85-4	
		Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-	787	928	2867-05-2	
15	7,026	Terpinen-4-ol	956	963	562-74-3	0,715
		Terpinen-4-ol	940	961	562-74-3	
		Terpinen-4-ol	951	951	562-74-3	

Continuación del apéndice 18.

16	7,286	à-Terpineol	965	978	98-55-5	1,460
		à-Terpineol	963	967	98-55-5	
		à-Terpineol	962	963	98-55-5	
17	7,521	ç-Terpinene	890	943	99-85-4	0,071
		ç-Terpinene	928	939	99-85-4	
		ç-Terpinene	921	930	99-85-4	
18	7,912	2-(1-Hydroxyethyl)hydroxymethylbenzene	407	917	57259-71-9	0,195
		2,6-Dimethyl-1,3,5,7-octatetraene, E,E-	529	900	460-01-5	
		2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)-	881	884	106-26-3	
19	8,072	3-Carene	886	953	13466-78-9	5,438
		Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	899	947	18172-67-3	
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 7,7-dimethyl-2-methylene-	841	947	471-84-1	
20	8,162	3-Methylnon-1-yn-3-ol	538	956	5430-01-3	2,370
		3-Methyl-3-buten-1-ol	490	940	763-32-6	
		2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-	893	904	624-15-7	
21	8,357	cis-2-Penten-1-ol	411	996	1576-95-0	0,710
		4-Penten-1-ol	411	995	821-09-0	
		2-Methyl-3-buten-2-ol	410	994	115-18-4	
22	8,587	Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, acetate, (1S-endo)-	937	939	5655-61-8	0,134
		Bornyl acetate	872	925	76-49-3	
		Bornyl acetate	914	919	76-49-3	
23	8,757	Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octane, 8-methylene-, (1à,2à,4à,5à)-	377	968	38310-48-4	0,052
		ç-Terpinene	882	929	99-85-4	
		ç-Terpinene	834	922	99-85-4	
24	9,012	Cyclohexane, 1-methylene-4-(1-methylethenyl)-	863	975	499-97-8	0,306
		Cyclohexane, 1-methylene-4-(1-methylethenyl)-	903	966	499-97-8	
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 7,7-dimethyl-2-methylene-	805	957	471-84-1	
25	9,117	2,6-Octadienoic acid, 3,7-dimethyl-, methyl ester, (E)-	819	962	1189-09-9	0,250
		4-Penten-2-ol	466	935	625-31-0	
		2,6-Octadienoic acid, 3,7-dimethyl-, methyl ester	820	929	2349-14-6	
26	9,767	3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate	923	949	80-26-2	39,053
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2-dimethyl-3-methylene-, (1S)-	883	942	5794-04-7	
		Cyclohexanol, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, acetate	856	931	10198-23-9	
27	9,822	Eugenol	937	937	97-53-0	0,116
		Eugenol	934	937	97-53-0	
		Eugenol	851	936	97-53-0	
28	9,967	à-Myrcene	913	949	123-35-3	1,370
		à-Myrcene	907	942	123-35-3	
		4-Hexen-1-ol, 5-methyl-2-(1-methylethenyl)-, acetate	937	941	25905-14-0	
29	10,072	(Z)-Dec-4-enyl ethyl carbonate	871	893		0,136
		5-Decen-1-ol, acetate, (E)-	870	882	38421-90-8	
		Cyclohexane, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, trans-	740	881	1124-25-0	
30	10,127	cis-Dodec-5-enal	877	922	68820-33-7	0,095
		3-Hexyne, 2-methyl-	333	912	36566-80-0	
		Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-pentyl-	435	909	41977-45-1	

Continuación del apéndice 18.

16	7,286	à-Terpineol	965	978	98-55-5	1,460
		à-Terpineol	963	967	98-55-5	
		à-Terpineol	962	963	98-55-5	
17	7,521	ç-Terpinene	890	943	99-85-4	0,071
		ç-Terpinene	928	939	99-85-4	
		ç-Terpinene	921	930	99-85-4	
18	7,912	2-(1-Hydroxyethyl)hydroxymethylbenzene	407	917	57259-71-9	0,195
		2,6-Dimethyl-1,3,5,7-octatetraene, E,E-	529	900	460-01-5	
		2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (Z)-	881	884	106-26-3	
19	8,072	3-Carene	886	953	13466-78-9	5,438
		Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	899	947	18172-67-3	
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 7,7-dimethyl-2-methylene-	841	947	471-84-1	
20	8,162	3-Methylnon-1-yn-3-ol	538	956	5430-01-3	2,370
		3-Methyl-3-buten-1-ol	490	940	763-32-6	
		2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-	893	904	624-15-7	
21	8,357	cis-2-Penten-1-ol	411	996	1576-95-0	0,710
		4-Penten-1-ol	411	995	821-09-0	
		2-Methyl-3-buten-2-ol	410	994	115-18-4	
22	8,587	Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, acetate, (1S-endo)-	937	939	5655-61-8	0,134
		Bornyl acetate	872	925	76-49-3	
		Bornyl acetate	914	919	76-49-3	
23	8,757	Tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octane, 8-methylene-, (1à,2à, 4à,5à)-	377	968	38310-48-4	0,052
		ç-Terpinene	882	929	99-85-4	
		ç-Terpinene	834	922	99-85-4	
24	9,012	Cyclohexane, 1-methylene-4-(1-methylethenyl)-	863	975	499-97-8	0,306
		Cyclohexane, 1-methylene-4-(1-methylethenyl)-	903	966	499-97-8	
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 7,7-dimethyl-2-methylene-	805	957	471-84-1	
25	9,117	2,6-Octadienoic acid, 3,7-dimethyl-, methyl ester, (E)-	819	962	1189-09-9	0,250
		4-Penten-2-ol	466	935	625-31-0	
		2,6-Octadienoic acid, 3,7-dimethyl-, methyl ester	820	929	2349-14-6	
26	9,767	3-Cyclohexene-1-methanol, à,à,4-trimethyl-, acetate	923	949	80-26-2	39,053
		Bicyclo[2.2.1]heptane, 2,2-dimethyl-3-methylene-, (1S)-	883	942	5794-04-7	
		Cyclohexanol, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, acetate	856	931	10198-23-9	
27	9,822	Eugenol	937	937	97-53-0	0,116
		Eugenol	934	937	97-53-0	
		Eugenol	851	936	97-53-0	
28	9,967	à-Myrcene	913	949	123-35-3	1,370
		à-Myrcene	907	942	123-35-3	
		4-Hexen-1-ol, 5-methyl-2-(1-methylethenyl)-, acetate	937	941	25905-14-0	
29	10,072	(Z)-Dec-4-enyl ethyl carbonate	871	893		0,136
		5-Decen-1-ol, acetate, (E)-	870	882	38421-90-8	
		Cyclohexane, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, trans-	740	881	1124-25-0	
30	10,127	cis-Dodec-5-enal	877	922	68820-33-7	0,095
		3-Hexyne, 2-methyl-	333	912	36566-80-0	
		Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-pentyl-	435	909	41977-45-1	

Continuación del apéndice 18.

31	10,167	1,5-Cyclodecadiene, 1,5-dimethyl-8-(1- methylethenyl)-, [S-(Z,E)]-	784	875	75023-40-4	0,120
		Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1- methylethenyl)-, [1S-(1à,2à,4à)]-	815	820	515-13-9	
		Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1- methylethenyl)-, [1S-(1à,2à,4à)]-	807	817	515-13-9	
32	10,593	Caryophyllene	985	988	87-44-5	0,127
		Caryophyllene	980	980	87-44-5	
		Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-8- methylene-, [1R-(1R*,4Z,9S*)]-	973	978	118-65-0	
33	10,688	ç-Elemene	916	974	29873-99-2	0,050
		1,5-Cyclodecadiene, 1,5-dimethyl-8-(1- methylethylidene)-, (E,E)-	908	971	15423-57-1	
		ç-Elemene	957	967	29873-99-2	
34	10,728	Cyclohexene, 1-methyl-5-(1-methylethenyl)-, (R)-	820	955	1461-27-4	0,237
		Limonene	787	931	138-86-3	
		Cyclopenta[c]pyran-1,3-dione, 4,4a,5,6-tetrahydro-4,7-dimethyl-	449	926	66407-26-9	
35	10,963	1H-Cycloprop[e]azulen-4-ol, decahydro-1,1,4,7- tetramethyl-, [1aR-(1aà,4à,4aà,7à,7aà,7bà)]-	849	939	552-02-3	0,150
		1H-Benzocycloheptene, 2,4a,5,6,7,8,9,9a- octahydro-3,5,5-trimethyl-9-methylene-, (4aS-cis)-	764	928	3853-83-6	
		Dihydro-cis-à-copaene-8-ol	360	922	58569-27-0	
36	11,163	Z-4-Dodecenol	660	971	40642-37-3	0,110
		1,8-Octanediol	633	953	629-41-4	
		1,9-Nonanediol	710	943	3937-56-2	
37	11,418	cis-muurola-4(14),5-diene	732	950		0,059
		1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1- methylethyl)-, [S-(E,E)]-	830	939	23986-74-5	
		1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1- methylethyl)-, [S-(E,E)]-	853	938	23986-74-5	
38	11,533	Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7- (1-methylethenyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aà)]-	960	984	17066-67-0	0,637
		Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7- (1-methylethenyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aà)]-	957	981	17066-67-0	
		Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7- (1-methylethenyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aà)]-	952	960	17066-67-0	
39	11,623	Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-4a,8- dimethyl-2-(1-methylethenyl)-, [2R-(2à,4aà,8aà)]-	957	967	473-13-2	0,187
		2-Isopropenyl-4a,8-dimethyl-1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydronaphthalene	955	964		
		2-Isopropenyl-4a,8-dimethyl-1,2,3,4,4a,5,6,7-octahydronaphthalene	944	953		
40	11,833	Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7- methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-, (1à,4aà,8aà)-	967	982	39029-41-9	0,297
		ç-Muurolene	956	975	30021-74-0	
		ç-Muurolene	970	974	30021-74-0	
41	12,098	cis-muurola-4(14),5-diene	731	960		0,104
		cis-muurola-3,5-diene	845	957		
		à-Cubebene	842	928	17699-14-8	
42	12,488	1H-Benzocycloheptene, 2,4a,5,6,7,8,9,9a- octahydro-3,5,5-trimethyl-9-methylene-, (4aS-cis)-	820	928	3853-83-6	4,763
		Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-8- methylene-	923	926	13877-93-5	
		Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-8- methylene-	910	922	13877-93-5	
43	12,558	Cyclohexene, 4-bromo-	259	891	3540-84-9	0,506
		Cyclopropanecarboxylic acid, but-3-yn-2-yl ester	575	853		
		1,5-Heptadiene, 2,6-dimethyl-	772	834	6709-39-3	
44	12,783	(2S,4R)-p-Mentha-[1(7),8]-diene 2-hydroperoxide	476	950		0,185
		Caryophyllene oxide	879	949	1139-30-6	
		Longipinocarveol, trans-	906	928		

Continuación del apéndice 18.

45	12,863	Naphthalene, 1,2,3,5,6,7,8,8a-octahydro-1,8a- dimethyl-7-(1-methylethenyl)-, [1R-(1à,7à,8aà)]-	803	946	4630-07-3	0,201
		1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1- methylethyl)-, [S-(E,E)]-	758	942	23986-74-5	
		Isoledene	901	936		
46	13,279	Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7- methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-, (1à,4aà,8aà)-	928	967	39029-41-9	0,188
		ç-Muurolene	927	967	30021-74-0	
		1,6-Cyclodecadiene, 1-methyl-5-methylene-8-(1- methylethyl)-, [S-(E,E)]-	843	964	23986-74-5	
47	13,379	1-Phenyl-2-methyl-oct-1-ene	213	958		0,065
		à-Vatirenene	787	892		
		17-Octadecene-9,11-dienoic acid, 8-oxo-, methyl ester	379	881	75112-83-3	
48	13,429	photocitral B	329	922	6040-45-5	0,078
		4-Methyl-1,4-heptadiene	383	911	13857-55-1	
		L-Histidinol	206	887	4836-52-6	
49	13,539	Spiro[4.5]dec-7-ene, 1,8-dimethyl-4-(1- methylethenyl)-, [1S-(1à,4à,5à)]-	654	914	24048-44-0	0,101
		2-Methyl-4-(2,6,6-trimethylcyclohex-1-enyl)but-2- en-1-ol	875	897	62924-17-8	
		7à-Ethyl-8à-hydroxy-2,6-dimethylbicyclo[4.4.0]dec-1-ene	490	897		
50	13,694	Dihydro-cis-à-copaene-8-ol	317	970	58569-27-0	0,083
		1H-Cycloprop[e]azulen-4-ol, decahydro-1,1,4,7- tetramethyl-, [1aR-(1aà,4à,4aà,7à,7aà,7bà)]-	767	921	552-02-3	
		.tau.-Muurolol	844	910	19912-62-0	
51	13,754	4-Hydroxy-3-methylbenzoic acid	194	852	499-76-3	0,082
		2,6-Dimethylbicyclo[3.2.1]octane	435	845		
		4-Hydroxy-3-methylbenzoic acid	192	842	499-76-3	
52	13,834	Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7- (1-methylethenyl)-, [4aR-(4aà,7à,8aà)]-	796	968	17066-67-0	0,316
		Selina-3,7(11)-diene	549	945	6813-21-4	
		Naphthalene, 1,2,3,5,6,7,8,8a-octahydro-1,8a- dimethyl-7-(1-methylethenyl)-, [1R-(1à,7à,8aà)]-	780	944	4630-07-3	
53	13,964	1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2- hydroperfluorobutanoate	260	933		0,157
		photocitral B	398	909	6040-45-5	
		Cyclohexanol, 4-ethyl-4-methyl-3-(1-methylethyl)-, (1à,3à,4à)-	295	901	55869-53-9	
54	14,084	D-(+)-Gluconic acid è-lactone	394	871	90-80-2	0,073
		L-(+)-Rhamnose	378	870	3615-41-6	
		2-Nonanone	566	868	821-55-6	
55	14,279	1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3- methylbut-2-enyl)-cyclohexane	400	962		0,226
		5,10-Pentadecadiyn-1-ol	214	942	64275-50-9	
		15(S)-Hydroxy-(5Z,8Z,11Z,13E)-eicosatetraenoic acid	381	928	54845-95-3	
56	14,374	cis-à-Farnesene	836	964	28973-97-9	0,980
		(E)-à-Farnesene	926	963	18794-84-8	
		à-Bisabolene	943	955	495-61-4	
57	14,599	2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-	897	972	19317-11-4	0,397
		2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-, (E,E)-	884	960	502-67-0	
		2,6,10-Dodecatrienal, 3,7,11-trimethyl-, (Z,E)-	897	959	4380-32-9	
58	14,679	Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-	501	839	28634-89-1	0,049
		à-Phellandrene	463	814	555-10-2	
		Spiro[4.5]dec-1-ene	487	783	697-27-8	
59	14,779	Bromine azide	185	925	13973-87-0	0,114
		(2S,4R)-p-Mentha-[1(7),8]-diene 2-hydroperoxide	457	919		
		Tricyclo[4.4.0.0(2,7)]dec-3-ene-3-methanol, 1- methyl-8-(1-methylethyl)-	426	915	115728-41-1	
60	14,929	photocitral B	348	922	6040-45-5	0,045
		(-)-Isolongifolol	477	919	1139-17-9	
		L-Histidinol	207	918	4836-52-6	

Continuación del apéndice 18.

61	15,109	DL-Arabinose	170	977	147-81-9	0,069
		DL-Arabinose	190	965	147-81-9	
		D-Arabinose	220	962	28697-53-2	
62	15,440	1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2- hydroperfluorobutanoate	256	934		1,079
		2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	409	922		
		(-)-Isolongifolol	458	921	1139-17-9	
63	15,645	á-Bisabolene	921	953	495-61-4	0,275
		cis-á-Farnesene	790	947	28973-97-9	
		(E)-á-Farnesene	881	945	18794-84-8	
64	16,080	1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2- hydroperfluorobutanoate	252	931		0,071
		(-)-Isolongifolol	468	927	1139-17-9	
		2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	413	927		
65	16,370	Cyclohexanol, 4-ethenyl-4-methyl-3-(1- methylethenyl)-, (1à,3à,4à)-	239	953	56298-45-4	0,094
		1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2- hydroperfluorobutanoate	198	944		
		1,1,1-Tris(hydroxymethyl)propane	154	941	77-99-6	
66	16,820	1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3- methylbut-2-enyl)-cyclohexane	416	929		0,172
		(2S,4R)-p-Mentha-[1(7),8]-diene 2-hydroperoxide	523	923		
		2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-9- (phenylsulfonyl)-, (E,E)-	381	919	57683-67-7	
67	17,050	photocitral B	281	935	6040-45-5	0,071
		Cyclohexanecarboxaldehyde, 4-(hydroxymethyl)-	362	923	92385-32-5	
		Viridiflorol	582	922		
68	17,145	9,10-Dihydrodeoxynivalenol	383	795	123505-36-2	0,078
		Dihydro-cis-à-copaene-8-ol	215	783	58569-27-0	
		9-cis-Retinal	428	768	514-85-2	
69	17,330	10-Chloro-1-decanol	266	989	51309-10-5	2,012
		n-Hexadecanoic acid	973	982	57-10-3	
		1-Decanol, 2-hexyl-	465	972	2425-77-6	
70	17,375	2-Cyclopentene-1-acetaldehyde, 2-formyl-à,3- dimethyl-	444	910	75332-42-2	0,903
		Cyclohexene, 4-bromo-	255	878	3540-84-9	
		Thiocyanic acid, 4-oxotricyclo[3.3.1.1(3,7)]dec-2- yl ester, (1à,2à,3à,5à,7à)-	286	872	56781-88-5	
71	17,535	3,5-Dihydroxybenzyl alcohol	150	969	29654-55-5	0,099
		photocitral B	284	891	6040-45-5	
		photocitral A	229	889	55253-28-6	
72	17,690	1,6,10,14-Hexadecatetraen-3-ol, 3,7,11,15- tetramethyl-, (E,E)-	971	976	1113-21-9	0,318
		(E,E,E)-3,7,11,15-Tetramethylhexadeca-1,3,6,10,14-pentaene	930	970	77898-97-6	
		(E,E)-7,11,15-Trimethyl-3-methylene-hexadeca-1,6,10,14-tetraene	925	967	70901-63-2	
73	17,860	2-(3-Methyl-but-1-ynyl)-cyclohexene-1- carboxaldehyde	299	910	106180-26-1	0,160
		Cyclopropa[d]naphthalen-2(4aH)-one, 1,1a,5,6,7,8- hexahydro-4a,8,8-trimethyl-, [1aR-(1aà,4aà,8aS*)]-	590	905	4677-90-1	
		Tricyclo[4.4.0.0(2,7)]dec-3-ene-3-methanol, 1- methyl-8-(1-methylethyl)-	366	899	115728-41-1	
74	18,011	1-Formyl-2,2,6-trimethyl-3-cis-(3-methylbut-2- enyl)-5-cyclohexene	376	879		0,064
		(-)-Isolongifolol	384	872	1139-17-9	
		Kauran-18-al, 17-(acetyloxy)-, (4à)-	585	871	55902-84-6	
75	18,331	2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	384	945		0,425
		photocitral B	315	945	6040-45-5	
		1,1,1-Tris(hydroxymethyl)propane	194	931	77-99-6	

Continuación del apéndice 18.

76	18,471	3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	850	976	102608-53-7	0,314
		Phytol, acetate	873	941		
		Pentadecanal-	747	937	2765-11-9	
77	18,711	15-Deoxy-.DELTA.12,14-prostaglandin J2	361	937	87893-55-8	1,868
		15(S)-Hydroxy-(5Z,8Z,11Z,13E)-eicosatetraenoic acid	352	924	54845-95-3	
		9-cis-Retinoic acid	548	908	5300-03-8	
78	18,911	1-Hexyl-2-nitrocyclohexane	394	986	118252-04-3	2,169
		(1S,15S)-Bicyclo[13.1.0]hexadecan-2-one	450	959	102572-89-4	
		9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-	932	951	60-33-3	
79	19,121	1-Methylene-2b-hydroxymethyl-3,3-dimethyl-4b-(3-methylbut-2-enyl)-cyclohexane	408	969		0,196
		2-Methyl-3-(3-methyl-but-2-enyl)-2-(4-methyl-pent-3-enyl)-oxetane	447	952		
		cis-à-Farnesene	556	935	28973-97-9	
80	19,166	2-Decanol	532	985	1120-06-5	0,117
		2-Decanol	530	975	1120-06-5	
		2-Decanol	524	971	1120-06-5	
81	19,381	5-Benzocyclooctenol, 5,6,7,8-tetrahydro-, (E)-	209	942	69576-88-1	0,112
		cis-à-Copaene-8-ol	284	874	58569-25-8	
		17-Octadecene-9,11-diyonic acid, 8-oxo-, methyl ester	256	865	75112-83-3	
82	19,661	1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2-hydroperfluorobutanoate	186	919		0,166
		(-)-Isolongifolol	326	907	1139-17-9	
		(-)-Isolongifolol	330	903	1139-17-9	
83	19,741	Phytol	572	973	7541-49-3	0,055
		1-Nonadecene	873	958	18435-45-5	
		1-Heneicosyl formate	888	951	77899-03-7	
84	19,936	Heneicosane	980	989	629-94-7	0,617
		Eicosane	976	987	112-95-8	
		Hexacosane	974	983	630-01-3	
85	19,986	3,5-Dihydroxybenzoic acid	199	924	99-10-5	0,232
		3,5-Dihydroxybenzoic acid	198	923	99-10-5	
		Gentisic acid	169	900	490-79-9	
86	20,351	photocitral A	204	941	55253-28-6	0,066
		1-Methyl-4-isopropyl-cyclohexyl 2-hydroperfluorobutanoate	190	916		
		2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-9-(phenylsulfonyl)-, (E,E)-	293	909	57683-67-7	
87	20,642	Tetracosane	937	989	646-31-1	0,210
		Tetracosane	980	988	646-31-1	
		Heneicosane	976	988	629-94-7	
88	20,787	1-Hexyl-2-nitrocyclohexane	327	943	118252-04-3	0,060
		Hexanal, 4,4-dimethyl-	424	910	5932-91-2	
		1-Hexyl-1-nitrocyclohexane	311	906	118252-09-8	
89	21,137	Behenic alcohol	965	981	661-19-8	0,195
		1-Nonadecene	960	981	18435-45-5	
		n-Tetracosanol-1	966	980	506-51-4	
90	21,307	Heneicosane	976	984	629-94-7	0,883
		Eicosane	972	983	112-95-8	
		Pentacosane	982	982	629-99-2	

Continuación del apéndice 18.

91	21,777	10-Chloro-1-decanol	289	968	51309-10-5	0,070
		10-Chloro-1-decanol	313	923	51309-10-5	
		10-Chloro-1-decanol	310	915	51309-10-5	
92	21,922	Hexacosane	958	985	630-01-3	0,078
		Heneicosane	967	983	629-94-7	
		Hexacosane	966	981	630-01-3	
93	22,417	1-Eicosanol	930	981	629-96-9	0,061
		9-Hexacosene	902	976	71502-22-2	
		10-Heneicosene (c,t)	895	976	95008-11-0	
94	22,467	9-Hexacosene	875	976	71502-22-2	0,065
		1-Eicosanol	896	973	629-96-9	
		1-Nonadecene	864	973	18435-45-5	
95	22,577	Hexacosane	962	982	630-01-3	0,283
		Heneicosane	961	982	629-94-7	
		Tetracosane	909	982	646-31-1	
96	22,917	Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-methylene-	277	934	54211-14-2	0,291
		1,5-Dimethyl-1-vinyl-4-hexenyl butyrate	772	917	78-36-4	
		1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, 2-aminobenzoate	756	916	7149-26-0	
97	23,943	1-Eicosanol	924	970	629-96-9	0,122
		9-Hexacosene	895	967	71502-22-2	
		1-Heptacosanol	946	960	2004-39-9	
98	24,013	Phytol	548	963	7541-49-3	0,066
		9-Hexacosene	826	955	71502-22-2	
		10-Heneicosene (c,t)	826	949	95008-11-0	
99	24,143	Eicosane	954	982	112-95-8	0,120
		Heneicosane	954	980	629-94-7	
		Tetracosane	909	980	646-31-1	
100	24,373	Bicyclo[4.1.0]heptane, 7-methylene-	305	937	54211-14-2	0,091
		Cyclohexane, 1-methylene-4-(1-methylethenyl)-	693	917	499-97-8	
		1-Methylene-2-vinylcyclopentane	365	915	6196-78-7	

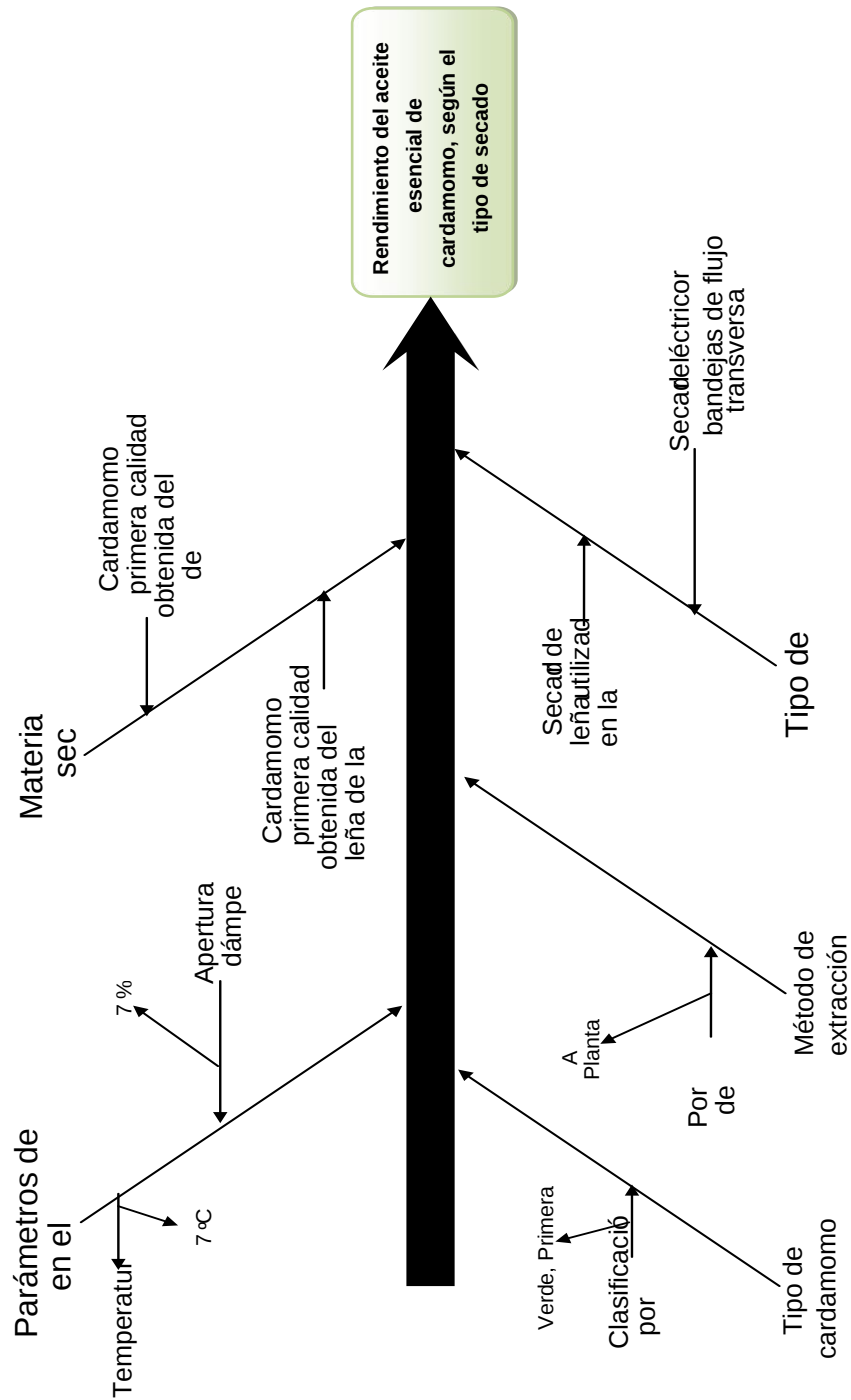
Fuente: elaboración propia, empleando cromatógrafo de gases del Departamento de Toxicología de la Escuela de Química Farmacéutica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 19. Tabla de requisitos académicos

Área	Cursos	Especificaciones
Química	Química 4	Evaluación del rendimiento de recuperación, análisis cromatográfico, índice de refracción y densidad.
	Análisis Cualitativo	
	Análisis Cuantitativo	
	Química Orgánica 1	
	Química Orgánica 2	
Fisicoquímica	Fisicoquímica 1	Caracterización fisicoquímica del aceite extraído. Control de presiones y flujo de vapor al momento de operar la caldera.
	Fisicoquímica 2	
	Termodinámica 3	
	Termodinámica 4	
Área Operaciones Unitarias	Transferencia de calor (IQ-3)	Área de secado, curvas de secado y tiempo de secado. Extracción del aceite esencial por arrastre de vapor.
	Transferencia de masa en etapas de contacto continuo (IQ-5)	
	Extracciones industriales	
Ciencias Básicas y Complementarias	Estadística 1 Estadística 2	Análisis estadístico de datos.

Fuente: elaboración propia.

apéndice 20. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.